B 7922 F

Heft 5 Seite 187-230 3. Jahrgang Oktober 1961

R. Oldenbourg München und Wien

Postverlagsort München

ER

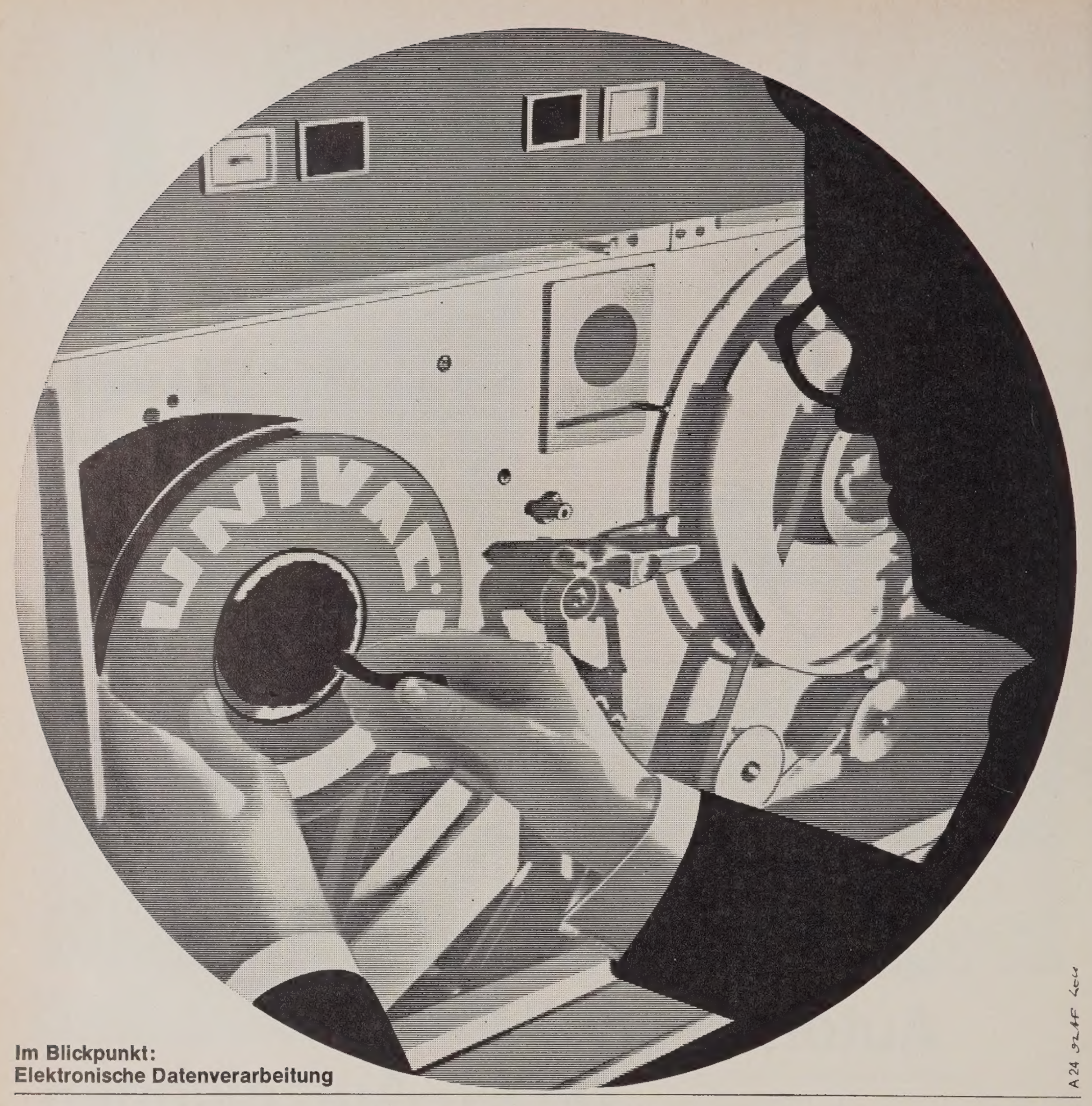
Elektronische Rechenanlagen

Zeitschrift für Technik und Anwendung der Nachrichtenverarbeitung in Wissenschaft Wirtschaft und Verwaltung



Nebelerscheinungen in den Plejaden

Yerkes Observatory Photograph



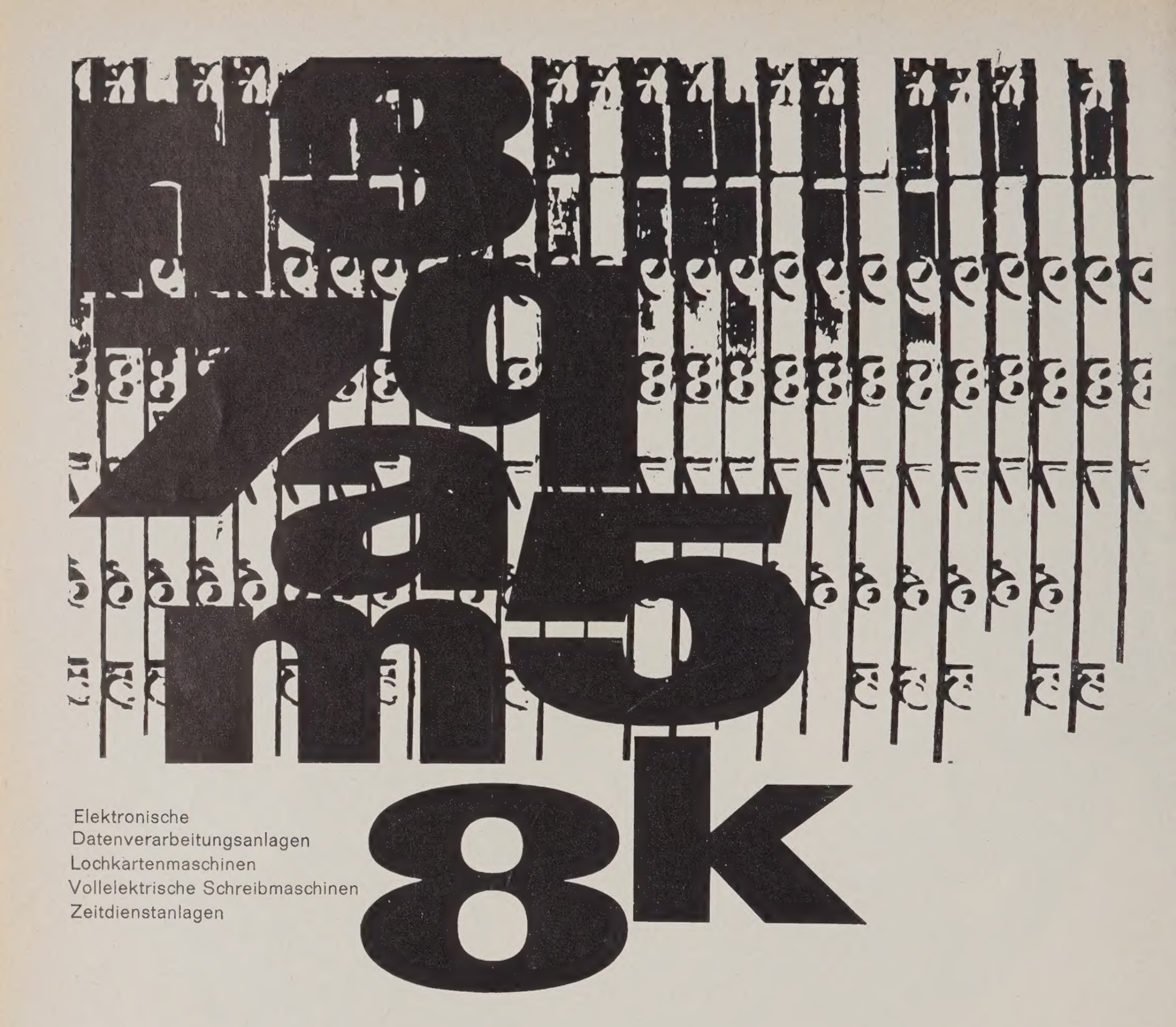
Im Blickpunkt:
Elektronische Datenverarbeitung

Immer neue Anwendungsgebiete erschließen sich der elektronischen Datenverarbeitung. Schon heute gehört in vielen Unternehmen das eigene Rechenzentrum zu den unentbehrlichen Einrichtungen. Der Einsatz von UNIVAC-Anlagen hierfür ist gleichbedeutend mit größter Schnelligkeit, Sicherheit und Lückenlosigkeit im Rechnungswesen.
Umfassende Datenverarbeitung zeichnet sich durch einen stetigen Informationsfluß aus. Sie muß sofortige Auskünfte, Kontrollen und größere Übersicht ermöglichen. Entscheidend ist ein schneller Zugriff zu oftmals gewaltigen Datenmengen. Hier beweist das Magnetband seine hohe Arbeitsgeschwindigkeit und Kapazität. Es speichert den Inhalt einer halben Million Lochkarten und kann in der Sekunde mehrere hunderttausend Ziffern aufnehmen oder abgeben.
Sämtliche UNIVAC-Datenverarbeitungssysteme lassen sich mit Magnetbandeinheiten ausrüsten. Sie erzielen damit eine wesentlich elastischere Aufbereitung wichtiger Zahlen. Der Bogen vorteilhafter Anwendung reicht von der kurzfristigen Sonderauswertung bis zur lückenlosen Betriebssteuerung.

UNIVAC-Datenverarbeitungsanlagen bilden die Eckpfeiler der wirtschaftlichen Automatisierung. Je nach den Erfordernissen des Benutzers stehen diese Systeme in verschiedenen Größenordnungen und Ausbaustufen zur Verfügung. Unsere Fachleute beraten Sie gern auf allen Gebieten der UNIVAC-Datenverarbeitung.

Remington Rand Univac
ABTEILUNG DER REMINGTON RAND GMBH · FRANKFURT AM MAIN


Halbleiter
Silizium
Spitzendioden
Flächendioden
Zenerdioden
Mittlerer Leistungsgleichrichter
Leistungsgleichrichter
HF-ZF Transistoren
Gesteuerte Gleichrichter
Unijonctiontransistoren
Photodioden
Germanium
Spitzendioden
Schaltdioden Allzweckdioden
ZF-NF Transistoren
Schalttransistoren
Leistungstransistoren
HF Transistoren
Halbleiter
Abteilung
THOMSON HOUSTON
41, RUE DE L'AMIRAL MOUCHEZ, PARIS 13e - TÉL. POR. 32-74 & 37-00
VERTRETER - MCP - Königstraße 101, 105 LÜBECK Tel.: 23536
SEMIKRON - Richard-Wagner-Straße 68 - PLANEGG - MÜNCHEN Tel. 89789


Elektronische
Datenverarbeitungsanlagen
Lochkartenmaschinen
Vollelektrische Schreibmaschinen
Zeitdienstanlagen

Einer der Aufsätze unseres nächsten Heftes befaßt sich mit der automatischen Berechnung von Formeln, die Lichtstreuungsphänomene beschreiben. Beispiele für derartige Erscheinungen sind das Zodiakallicht und gewisse diffus leuchtende ,,Nebel'' im Kosmos, die das unbewaffnete Auge nicht mehr wahrnehmen kann. Unser Titelbild stammt von einer Aufnahmeserie des amerikanischen Yerkes Observatoriums.

Elektronische Rechenanlagen

Zeitschrift für Technik und Anwendung der Nachrichtenverarbeitung in Wissenschaft, Wirtschaft und Verwaltung.

Unter Mitwirkung des Fachausschusses 6 ,,Informationsverarbeitung'' der Nachrichtentechnischen Gesellschaft im VDE (NTG) herausgegeben im Verlag R. Oldenbourg, München und Wien.

Schriftleitung:

Dr. rer. nat. K. Becker-Berke, Sindelfingen,
Dr. rer. nat. H. Billing, München,
Dr.-Ing. H.-J. Dreyer, Stuttgart,
Dr. rer. nat. S. Herschel, Ulm,
Dr. phil. nat. H. Kaufmann, München,
Dr. techn. H. Zemanek, Wien.

Büro der Schriftleitung:

D. Kroneberg, München 8, Rosenheimer Straße 145, und
1 bis Rue Vaneau, Paris 7 ème

Verlag und Anzeigenverwaltung:

R. Oldenbourg, München 8, Rosenheimer Straße 145, Telefon: 4 59 21, Fernschreiber: 05/23789
R. Oldenbourg, Ges. m. b. H., Wien III, Neulinggasse 26, Telefon: 72 62 58

Bezugsbedingungen:

Die Zeitschrift Elektronische Rechenanlagen erscheint zweimonatlich, jeweils im Februar, April, Juni, August, Oktober, Dezember.
Bezugspreis DM 54,— (Ausland DM 56,—) im Jahr zuzüglich Zustellgebühr, Einzelheft DM 12,—. Postscheckkonto München Nr. 50 04, R. Oldenbourg.
Mitglieder der Nachrichtentechnischen Gesellschaft im VDE (NTG) zahlen den ermäßigten Bezugspreis von DM 43,20 im Jahr, sofern sie ihre Bestellung an die NTG-Geschäftsstelle in Frankfurt a. M., Osthafenplatz 6, richten.

Mitteilungen über die Inhaber- und Beteiligungsverhältnisse des Verlages R. Oldenbourg auf Grund des Bayerischen Gesetzes über die Presse vom 3. 10. 1949: Die Gesellschafter-Anteile befinden sich im Besitz der R. Oldenbourg K.G., München, Rosenheimer Straße 145. Persönlich haftende Gesellschafter: Eberhard Oldenbourg, Verlagsbuchhändler, München, Wilhelmstr. 25; Dr. Rudolf Oldenbourg Verlagsbuchhändler, München-Solln, Karl-Singer-Straße 5; Horst Kliemann, Verlagsbuchhändler, München 19, Falorstr. 4; Kommanditisten: Mathilde v. Bomhard, München, Sternwartstr. 3; Gabriele v. Bomhard, München 15, Pettenkoferstr. 48/III; Cilla v. Cornides, Rieden/Tirol; Dr. Karl v. Cornides, Verlagsbuchhändler, Wien III, Neulinggasse 26; Wilhelm v. Cornides jr., Verlagsbuchhändler, Oberursel/Taunus, An der Heide 35; Frl. Cilla v. Cornides, München, Robert-Koch-Straße 18/IV; Brigitte Fertl, München, Borschtallee 30; Dipl.-Ing. Hans A. Fieser, Dir., Gauting, Waldpromenade 62; Irmgard Fieser, Gauting, Waldpromenade 62; Annemarie Ginther, Rieden/Tirol; Dr. Helene Hahn, Bremen-Blumenthal, Landrat-Christian-Straße 79; Marie-Hedwig Klöpfer, Essen-Werden, Laupendahler Landstraße 17; Eva Laner, Bonn/Rhein, Baumschulallee 10; Maria Freifrau v. Meyern-Hohenberg, München, Kopernikusstr. 11/IV; Edith Müller, Hamburg 39, Clärchenstr. 22; Inge v. Negelein, München 27, Denninger Str. 34; Consuelo Oldenbourg, München, Viktor-Scheffel-Straße 10/I; Emmy Oldenbourg, Rieden/Tirol; Gertrud Oldenbourg, Bremen, Friedrich-Karl-Straße 80; Dr. John C. Oldenbourg, São Paulo/Brasilien, Rua Alagoas 676; Marga Oldenbourg, München, Wilhelmstr. 25; Walter Oldenbourg, Verlagsbuchhändler, München-Solln, Irmgardstr. 27; Wilhelm Oldenbourg, Verlagsbuchhändler, München-Solln, Karl-Singer-Straße 5; Wolfgang Oldenbourg, Kaufmann, München-Trudering, Waldschulstr. 75; Brigitte Reiner, Haar b. München, Vockestr. 82; Friedrich Rosenkranz, München 27, Denninger Str. 34; Ilse Rosenkranz, München 27, Denninger Str. 34; Sophie Schmid, Bad Reichenhall, Wisbacherstr. 4; Gräfin Inge Schönborn, München, Sternwartstr. 5; Ilse Schröder, Rolaschlaan 24, Den Haag; Luise Sieper, München, Donner Straße 24; Hedwig Freifrau v. Stengel, Grünwald b. München, Gasteigweg 1.

 Druck: R. Oldenbourg, Graphische Betriebe GmbH, München 8, Rosenheimer Straße 145

INHALT Heft 5 · 1961

CONTENTS

SIEMENS

T 274 A

Das Bild der Wirtschaft in Zahlen

Leistung und Dynamik der Wirtschaft werden in Zahlen und Werten sichtbar. Diese Zahlenaussagen bedingen vielfältige und umfangreiche Verwaltungsarbeit. In den Büros der Industrie, in Banken, Versicherungen, Verwaltungen und Behörden müssen hierzu immer größere Datenmengen erfaßt, geordnet und in aktuelle Ergebnisse umgesetzt werden. Mit den bisher üblichen Mitteln und Methoden können diese Anforderungen nicht mehr schnell, exakt und rationell genug erfüllt werden. Elektronische Datenverarbeitungsanlagen bringen neue, wirksamere Arbeitsmethoden: als Organisationszentren lösen sie die Verwaltungsprobleme heute und auf weite Sicht.



Die Siemens Datenverarbeitungsanlage 2002

ist eine Anlage mit universeller Einsatzmöglichkeit; der bausteinartige Aufbau ermöglicht die Anpassung an alle Probleme. Die entscheidenden Vorzüge der Siemens Datenverarbeitungsanlage sind: hohe Arbeitsgeschwindigkeit, beliebig erweiterbare Speicherkapazität, schnelle Ein- und Ausgabegeräte sowie die entfernungsunabhängige Ein- und Ausgabe über das Fernschreibnetz. Mit wachsenden Problemen und Anforderungen kann die Siemens Datenverarbeitungsanlage 2002 entsprechend erweitert werden.

Unsere erfahrenen Organisationsfachleute helfen Ihnen bei der Einsatzplanung. Die weltweite Vertriebsorganisation des Hauses Siemens gewährleistet zuverlässigen Kundendienst.

SIEMENS & HALSKE AKTIENGESELLSCHAFT
WERNERWERK FÜR TELEGRAFEN- UND SIGNALTECHNIK

Elektronische Rechenanlagen

Zeitschrift für Technik und Anwendung der Nachrichtenverarbeitung in Wissenschaft, Wirtschaft und Verwaltung

3. Jahrgang 1961, Heft 5

Rechenautomaten werden von Ingenieuren, Mathematikern und Physikern erdacht. Sie können aber nicht nur der Administration — im weitesten Sinne — dienen, indem man z. B. mit ihrer Hilfe Produktionslenkung, Lagerbuchhaltung, Fakturierung, Kontokorrentbuchhaltung, Lohn- und Gehaltsrechnung zu größter Vollkommenheit und Schnelligkeit entwickelt, statistische Unterlagen aller Art liefern kann und den Unternehmensleitungen die für ihre Entscheidungen notwendigen Unterlagen in der besten Form aufbereitet. Rechenautomaten erweisen sich auch ihren Vätern dankbar; denn sie helfen ihnen wiederum, ihre Arbeiten schneller und vollkommener durchzuführen; vielfach sind sie sogar ein probates Mittel, zeitraubende, kostspielige und vielleicht gefährliche Experimente in größter Vollständigkeit „am Schreibtisch" auszuführen.

Es ist also kein Wunder, wenn sich die Ingenieure schon frühzeitig für diese Möglichkeiten begeistert haben. Diese Begeisterung muß natürlich durch einige nüchterne ökonomische Überlegungen den richtigen Rahmen bekommen, zum mindesten in dem Gebiet, von dem hier die Rede sein soll, der industriellen Erzeugnisentwicklung; in der reinen Forschung und bei der Anwendung für Verteidigungsaufgaben gelten andere Gesetze. Der Industrieentwickler muß sich schon dafür interessieren, daß die Betriebsstunde eines Rechenautomaten je nach Größe mehrere hundert Mark kostet und daß beim Aufstellen und Austesten von Programmen heute noch im Mittel eine Stunde Ingenieurarbeit je Instruktion eines fertigen Programms erforderlich sein mag. (Die Weiterentwicklung von Programmier-„sprachen" und anderer Programmierhilfsmittel wird allerdings diesen letzteren Zeitbedarf in der Zukunft sicherlich herabsetzen). Ein Rechenautomat muß also sicherlich anders angewendet werden als ein superschneller Rechenschieber.

Bei der Vielfalt der ingenieurmäßigen Probleme ist es kaum möglich, in wenigen Zeilen einen Überblick zu geben. Man begegnet aber immer wieder den typischen Gruppen von Programmen:

1. *Analyse* komplizierter physikalischer Strukturen bezüglich ihrer Eigenschaften;
2. *Synthese* komplizierter physikalischer Strukturen auf Grund vorgegebener Eigenschaften;
3. *Simulation* des Verhaltens physikalischer Systeme bei bestimmten Einflüssen der „Außenwelt".

Zwischen der *ersten und zweiten Gruppe* bestehen insofern eine enge Verwandtschaft und ein progressiver Übergang, als meistens mit dem leichteren Fall eines Analyseprogramms begonnen wird, der volle Nutzen des Rechenautomaten aber erst nach Entwicklung des Syntheseprogramms erreicht wird. Zum Beispiel sind die Berechnung

- von elektrischen Netzen mit passiven oder passiven und aktiven Schaltelementen,
- von Leistungstransformatoren,
- von kritischen Drehzahlen rotierender Maschinen,
- von optischen oder elektronenoptischen Linsensystemen,
- von Strömungsprofilen,

typische Aufgaben, deren Lösung man sowohl mit Analyse- als auch mit Syntheseprogrammen angehen kann. Außer der großen Schnelligkeit bietet hier der Rechenautomat unvergleichliche Möglichkeiten für die Berücksichtigung von Toleranzen und für die Optimierung der Bemessung. Als anscheinend triviale Anwendung von Synthesemethoden, die jedoch von großer wirtschaftlicher Bedeutung sein kann, kann man auch die Projektierung von Großanlagen mit Hilfe von Rechenautomaten betrachten.

Hier werden ausgehend von einem Kundenauftrag

- *der Fabrik* Typen und Anzahl der benötigten Geräte,
- *der Montage* Aufstellung und Verkabelung dieser Geräte,
- *dem Vertrieb* Listen für die dem Kunden auszuhändigenden technischen Unterlagen

angegeben.

Die *dritte Gruppe* der Simulationsprogramme gibt erstmalig die Möglichkeit, das Verhalten von Geräten und Systemen gegenüber statistisch schwankenden Einflüssen zu untersuchen, ohne sie zuerst körperlich darzustellen und dann in langwierigen Betriebsversuchen zu erproben. Die größte Bedeutung haben diese Methoden für die Nachrichtentechnik selbst; denn vielfach haben die Kollektive der zu übertragenden oder zu verarbeitenden Informationen sowie die dabei zu berücksichtigenden Störungen statistischen Charakter. So simuliert man z. B.

- den Verkehrsdurchfluß durch Telefonvermittlungsämter,
- das Verhalten von Datenübertragungssystemen bei Leitungsstörungen,
- die Sicherheit automatischer Einrichtungen zur Erkennung von Sprache oder Schrift.

Die Weiterentwicklung dieses Anwendungsgebietes von Rechenautomaten ist unabsehbar, aber man soll sich stets daran erinnern, daß die Fähigkeiten der Rechenautomaten nur immer dem entsprechen, was ihre Väter und Lehrmeister, die Ingenieure, Mathematiker und Physiker, ihnen mitgegeben haben.

G. Häßler

Notizen und Berichte

Mitte September trafen sich etwa 350 Fachleute aus aller Welt im National Physical Laboratory in Teddington (England), um sich über das Problem der automatischen Sprachübersetzung auszusprechen. Bisher arbeitete man in Gruppen getrennt voneinander. Trotz aller Fortschritte bei der Zeichenerkennung, bei der Programmierung von Sätzen, bei den Lexikonspeichern und der Bedeutungstrennung ist das gesamte Gebiet der Sprachübersetzung noch weit davon entfernt, eine einheitliche Entwicklungsrichtung erkennen zu lassen.

Die erste selbsttätige Sprachübersetzung wurde 1954 mit Hilfe eines Lexikons von 250 Worten an Hand einiger einfacher Sätze demonstriert. 1961 steht immerhin schon ein Lexikon mit 5000 Worten zur Verfügung, um etwa die Wort-für-Wort-Übersetzung eines Abschnittes der Prawda in ziemlich verständliches Englisch zu bewerkstelligen. Noch ist aber ein Fachmann nötig, der das Maschinenergebnis in eine brauchbare Alltagssprache übertragen muß.

Die 37 Vorträge der Tagung in Teddington kamen zum Großteil aus den USA. Der bisher gewonnene Stand und die übersehbaren Entwicklungen werden sich für Kurzfassungen wissenschaftlicher Veröffentlichungen und andere automatische Dokumentationsaufgaben als nützlich erweisen.

Der Bau von Übersetzungsautomaten ist derzeit nicht nur durch die Schwierigkeiten des Verkehrs Mensch — Maschine benachteiligt, sondern auch durch die noch sehr niedrigen Eingabegeschwindigkeiten gehemmt. Einen großen Schritt vorwärts dürften Verbesserungen auf dem Gebiet der automatischen Zeichenerkennung bringen, die aber noch etwa zwei Jahre Wartezeit beanspruchen.

●

Die finnische Bank *Kansallis Osake Pankki* in Helsinki hat ein Siemens-Datenverarbeitungssystem 2002 bestellt, um Sparkonten und Kontokorrentführung sowie Depotbuchhaltung und Effektenabrechnung zu automatisieren. Ein weiterer Auftrag wurde von der Volkswohl-Krankenversicherung VVaG (Hauptsitz Dortmund) erteilt.

●

Nach American Airlines haben zwei andere große Fluggesellschaften — *Delta Airlines* und *Pan American* — das IBM-Platzreservierungssystem SABRE in Auftrag gegeben.

●

Wie Honeywell berichtet, wurde der *Honeywell Algebraic Compiler* zur Eingabe von mathematischer Formelsprache in den Honeywell 800-Rechner jetzt fertiggestellt. Näheres ist zu erfahren bei Minneapolis Honeywell Regulator Co., Electronic Data Processing Division, 60 Walnut Street, Wellesley Hills 81/ Mass., USA.

●

Am 21. und 22. September 1961 fand an der ETH Zürich die 11. Tagung der SGA *(Schweizerische Gesellschaft für Automatik)* über das Thema „Einführung in die Formelsprache ALGOL“ statt. Das Ziel der Tagung war, den Hörern, die zum größten Teil mit ALGOL noch nicht bekannt waren, einen Überblick über Aufbau und Anwendungsmöglichkeiten dieser Formelsprache zu geben.

Nach einem allgemeinen Vortrag „L'analyse numérique est-elle élémentaire?“ von Prof. *Ch. Blanc*, EPUL, Lausanne, gab Prof. *K. Samelson*, Mainz, eine „Einführung in die Formelsprache ALGOL“. Es wurde in undogmatischer Weise eine Übersicht über die Ausdrucksmittel von ALGOL geboten und insbesondere auf die nahe Verwandtschaft zur üblichen mathematischen Formulierungsweise hingewiesen.

Als Ergänzung zu dieser ersten Einführung sprach Dr. *P. Läuchli*, ETH Zürich, über die „Behandlung von einfachen Beispielen mit ALGOL“. In zwei Vorträgen über „Ausgewählte Methoden der numerischen Mathematik“ wies Prof. *F. L. Bauer*, Mainz, auf einige beim numerischen Rechnen häufig auftretende Fehlerquellen hin und erläuterte Möglichkeiten ihrer Ausschaltung; es folgte eine genaue Analyse zweier größerer abgeschlossener ALGOL-Programme. Besonders interessant war der Vortrag „Einführung der ALGOL-Prozeduren“ von Prof. *H. Rutishauser*, ETH Zürich, der einen guten Einblick in die Vor- und Nachteile dieses Konzepts vermittelte. Prof. *Samelsons* zweiter Vortrag, „Übersetzung von ALGOL-Programmen in Maschinenprogramme“, konnte natürlich nur einen ungefähren Überblick über die von *Bauer* und *Samelson* verwendete Übersetzungsmethode geben. Ein zweiter interessanter Vortrag von Dr. *Läuchli* behandelte „Die Simplexmethode der linearen Programmierung als Beispiel eines in ALGOL beschriebenen Rechenprozesses“. Weitere Anwendungsmöglichkeiten von ALGOL sollten die beiden Referate von *M. Engeli*, Zürich, über „Automatisierte Aufstellung von Differenzengleichungen für elliptische partielle Differentialgleichungen“ und von Dr. *H. G. Bürgin*, Omni Ray, Zürich, über „Einsatz und Programmierung von digitalen Rechenautomaten in Regelsystemen“ zeigen.

●

Vor kurzem wurde die *European Computer Manufacturers Association* (ECMA) als Vereinigung der Firmen gegründet, die in Europa Anlagen zur Verarbeitung digitaler Daten für betriebliche, wissenschaftliche, technische und ähnliche Zwecke entwickeln, fertigen und vertreiben. Sie hat ihren Sitz und ihr Sekretariat in Genf.

Ziel dieser Vereinigung ist die gemeinsame Erörterung technischer Fragen auf dem Gebiet der Datenverarbeitung, um dadurch einen Beitrag für die Arbeit der nationalen und internationalen Normenorganisationen bei der späteren Aufstellung von Normen auf diesem für das gesamte staatliche, wirtschaftliche, wissenschaftliche und technische Leben so wichtigen Gebiet zu liefern. Inzwischen sind technische Arbeitsausschüsse gebildet worden, die sich mit Programmierungssprachen befassen und die Möglichkeit eines Austausches von Informationen zwischen verschiedenen Datenverarbeitungsanlagen prüfen.

Innerhalb der Vereinigung bestehen bereits drei technische Arbeits-Ausschüsse. Sie befassen sich

1. mit Codes für die Darstellung der für die Ein- und Ausgabe benötigten Zeichen,
2. mit der Schaffung einheitlicher Programmierungssprachen und
3. mit der graphischen und symbolischen Darstellung von Arbeitsvorgängen.

Ein vierter Ausschuß wird sich nach Konstituierung mit der Frage der Zeichenerkennung beschäftigen.

Der erste Präsident der ECMA ist Mr. *C. G. Holland-Martin*, Forschungsdirektor der International Computers and Tabulators Ltd.; *M. P. Dreyfus*, Compagnie des

Machines Bull, ist Vize-Präsident, Schatzmeister der Vereinigung ist Signor *M. R. Pedretti*, IBM World Trade Europe Corporation, France.

Mitglieder sind:

Aktiebolaget Addo, Schweden
Associated Electrical Industries Limited, England
Compagnie des Machines Bull, Frankreich
Electric and Musical Industries Limited, England
N.V. Electrologica, Niederlande
Elliott Brothers (London) Limited, England
English Electric Company Limited, England
Facit Electronic AB, Schweden
IBM World Trade Europe Corporation, Frankreich
International Computers and Tabulators Limited, England
ITT Europe, Inc. Belgien, in Deutschland repräsentiert durch Standard Elektrik Lorenz AG
Leo Computers Limited, England
Olivetti, S.p.a., Italien
S.E.A. (Société d'Electronique d'Automatisme), Frankreich
Siemens & Halske AG, Deutschland
Telefunken GmbH, Deutschland
Zuse KG., Deutschland

●

Die Unternehmen der westdeutschen Elektroindustrie waren sich bewußt, daß die enorme Expansion, die der Konjunkturaufschwung von Mitte 1959 bis Ende 1960 gebracht hatte, im Laufe dieses Jahres nicht anhalten, sondern durch eine ruhigere Entwicklung abgelöst werden würde. Allein im Jahre 1960 war die Produktion um 19,5%, der Umsatz um 16% und die Belegschaft um 11,8% gestiegen. Das war in erster Linie eine Folge der Investitionswelle, die in einem ungewöhnlichen Auftragsboom zum Ausdruck kam. Aber auch die Gebrauchsgüter konnten das bisherige Tempo nicht halten.

Die statistischen Zahlen, die jetzt für das 1. Halbjahr 1961 vorliegen, bestätigen diese Vermutung, vor allem mit den Ergebnissen für das 2. Vierteljahr. Für das 2. Halbjahr 1961 wird zwar mit einer gewissen saisonalen Belebung und auch noch mit einem kleinen konjunkturellen Auftrieb zu rechnen sein, aber die Expansion wird wohl geringer als im vergangenen Jahr bleiben.

Der *Umsatz* lag im 1. Vierteljahr 1961 um 17,9% über dem Vorjahr. Im 2. Vierteljahr verminderte sich die Zuwachsrate auf 13,4%. Im Vorjahr war der Umsatz vom 1. zum 2. Vierteljahr um 2,7% gestiegen, während er in diesem Jahr um 1,2% gesunken ist. Dadurch ermäßigte sich die Wachstumsrate für das 1. Halbjahr 1961 auf 15,6% gegen 16% im Durchschnitt des Jahres 1960. — Der *Auslandsumsatz* (innerhalb des Gesamtumsatzes) lag mit 1,9 Mrd. DM im 1. Halbjahr 1961 um 8,4% über 1960. Der Anteil am Gesamtumsatz fiel damit auf knapp 18%; den bisherigen Höhepunkt hatte das Jahr 1957 mit 20% gebildet.

Der *Auftragseingang* war im 2. Vierteljahr erstmals seit langer Zeit etwas geringer als ein Jahr zuvor, nämlich 5,5%, nachdem er noch im 1. Vierteljahr 11,3% größer gewesen war. Er belief sich im 2. Vierteljahr 1961 auf 5630 Mio DM.

Während die Aufträge insgesamt im 1. Halbjahr 1961 das Vorjahr noch um 5,2% und den gleichzeitigen Umsatz um 10% überstiegen, blieben die *Auslandsaufträge* um 5,2% etwas *unter* dem Vorjahr. Die Wendung in der Auftragsentwicklung vom 1. zum 2. Vierteljahr 1961 war bei den *Investitionsgütern* besonders ausgeprägt. Bei den Gebrauchsgütern waren die Aufträge im 1. Vierteljahr 1961 noch um 7% höher als im Vorjahr, so daß der Rückgang im 2. Vierteljahr (— 0,6% gegen das Vorjahr) weniger stark ausfiel. Das weitere Wachstum der Elektroproduktion hängt also zunehmend von den Investitionsgütern ab.

●

Das Lieferprogramm der Anschlußgeräte an die Rechenanlage *Electrologica X1* wurde durch einen neu entwickelten Großraum-Trommelspeicher erweitert. Mehrere dieser Trommeln können als Sekundärspeicher angeschlossen werden. Sie nehmen jeweils bis zu 400000 X1-Worte auf und haben eine mittlere Zugriffszeit von 16 ms.

●

In Heft 3 (1961) brachten wir einen Kurzbericht über die Fachtagung *Zuverlässigkeit von Bauelementen* (Nürnberg, April 61). Wie der Verlag Friedr. Vieweg & Sohn mitteilt, werden die Vorträge dieser Tagung Ende des Jahres im Heft 24 der Nachrichtentechn. Fachber. erscheinen.

●

Der größte Träger der Arbeiterrentenversicherung in der Bundesrepublik Deutschland, die Landesversicherungsanstalt Rheinprovinz, Düsseldorf, hat ein Datenverarbeitungssystem UNIVAC III bestellt. Diese neue Großrechenanlage mittlerer Preisklasse von Remington Rand ist mit leistungsfähigen Magnetbandeinheiten ausgerüstet. Die Magnetbänder können mit einer Geschwindigkeit von 200000 Ziffern in der Sekunde gelesen und beschrieben werden. Das Baukastenprinzip der Anlage erlaubt jederzeit eine Erweiterung und Anpassung an die Belange und ständig wachsenden Aufgaben der Rentenversicherungsträger.

Mit der UNIVAC III soll in Düsseldorf der Bestand von insgesamt 700000 Rentenempfängern verwaltet werden. Die eigentliche und umfangreichste Aufgabe wird die Rentenberechnung sein. Daneben sollen verschiedene Verwaltungsarbeiten mit Hilfe der Anlage rationalisiert werden. Parallel dazu wird eine spätere bundeseinheitliche Kontenführung aller Versicherten vorbereitet.

●

Die Universität von Texas wird das Maschinenduo 1604 und 160 der *Control Data Corporation*, Minneapolis, aufstellen.

●

Die englische *Midland Bank* hat für runde drei Millionen DM ein KDP 10-Datenverarbeitungssystem (Hersteller: English Electric) in Auftrag gegeben, mit dem über 100000 Konten geführt werden sollen.

●

Die Vorträge der Ende März von der *British Computer Society* veranstalteten Konferenz über Datenübertragung, Dokumentation und Zeichenerkennung wurden inzwischen im „British Computer Journal" veröffentlicht (Vol. 4, Nr. 2, Juli 61).

●

Honeywell hat in England der bestehenden Organisation eine Abteilung für Datenverarbeitung angefügt, die den Vertrieb der beiden Honeywell-Rechner 800 und 400 übernehmen soll.

●

Eine Beschreibung des von *English Electric* neu entwickelten Allzweck-Rechners KDP9 findet sich in der Zeitschrift „Data Processing" (Vol. 3, Nr. 3, 61).

●

Remington Rand Univac hat außer den bereits andernorts erwähnten Anlagen UCT II und UCT III (s. Seite 224 dieses Heftes) zwei weitere Neuentwicklungen anzubieten. Es handelt sich um den sogenannten Real-Time Computer 490 und den mit Dünnschichtspeicher ausgerüsteten Rechner 1107. Die 490-Anlage, von der das erste Serienmodell demnächst an die Eastern Airlines. geliefert wird, ist zur direkten Steuerung von Produktions- oder Verwaltungsabläufen bestimmt. Über die beiden neuen Univac-Typen werden wir in Kürze eingehend berichten.

●

Maser Optics Inc. in Boston hat die Anteile der *Trident Corp.*, Cambridge/Mass., erworben. Die Trident Corp. stellt Geräte für die Laser-Forschung, optisches Radar und Unterwasserortung her. Der Zusammenschluß läßt eine wesentliche Stärkung der Position von Maser Optics erwarten.

Das neue Wort „Laser" leitet sich ab von *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation.* Es handelt sich dabei um Verstärker für extrem gebündelte, kohärente Lichtstrahlen, von denen man sich für die Zukunft der Nachrichtenübertragung große Hoffnungen macht.

●

Associated Electrical Industries Ltd. haben für England und das britische Commonwealth (außer Kanada) die Vertriebsrechte für die Ein- und Ausgabegeräte und den Karusselspeicher der schwedischen *Facit Electronics AB* übernommen. Das Abkommen beeinträchtigt nicht eine ähnliche Vereinbarung zwischen Facit und Svenska Aeroplan AB (SAAB) und ebenfalls nicht den Lizenzvertrag zwischen Facit und North American Aviation Inc. (Autonetics).

Associated Electrical Industries Ltd. (AEI) setzt sich aus den drei Gruppen Metropolitan Vickers, British Thomson-Houston und Siemens Edison Swan zusammen.

●

In der Woche vom 4. 9. bis 9. 9. 1961 fand in Opatija (Jugoslawien) die dritte internationale Konferenz über Analogrechnen statt, die von der internationalen Gesellschaft für Analogrechnen (AICA) organisiert war.
Die 120 Vorträge waren in drei Haupt-Themengruppen eingeteilt:

A. Analog methods in mathematical and physical problems

B. Analog computation in systems engineering

C. Analog and hybrid techniques and devices.

In der Gruppe A wurden hauptsächlich spezielle Netzwerke zur Simulierung von mehrdimensionalen Problemen besprochen, daneben die Lösung von Eigenwert- und Randwertproblemen von algebraischen Gleichungen behandelt und Fehlereinflüsse bei gewöhnlichen und partiellen Differentialgleichungen diskutiert.

Die Gruppe B umfaßte im wesentlichen die „klassischen" Anwendungsgebiete des elektronischen Analogrechners in der Regelungs- und Reaktortechnik sowie die zunehmend interessanter werdenden Anwendungen in der Statistik.

In der dritten Gruppe C wurden gemischt analoge und digitale Verfahren in der analogen Gerätetechnik und Programmierung behandelt; ein Thema, das vermutlich in Zukunft weiter an Interesse gewinnen wird.

Leider kam — sicher nicht zuletzt infolge sprachlicher Schwierigkeiten — kaum eine Diskussion im Anschluß an die Vorträge zustande. Für die nächste Tagung 1964 in London wäre zu wünschen, daß den Tagungsteilnehmern bei Beginn der Tagung die vollständigen Manuskripte einer durch Auslese verringerten Zahl von Vorträgen zur Verfügung stehen. Die Vorträge dieser Konferenz werden — wie die früheren (Brüssel, 1955; Straßburg, 1958) — in einiger Zeit beim Verlag Presses Académiques Européennes, Brüssel, erscheinen.

Der mondäne Kurort an der Adriaküste gab zusammen mit dem schönen Wetter einen idealen Rahmen zur Anknüpfung oder Pflege von Kontakten unter den etwa 200 Wissenschaftlern aus über 15 Ländern. Diesen persönlichen Beziehungen dienten auch die ganztägigen Omnibus-Ausflüge in landschaftlich und historisch reizvolle Teile Istriens.

●

Am 28. September 1961 wurde eine neue Forschungsgruppe eröffnet, die im Rahmen der IBM Österreich, Internationale Büromaschinen Gesellschaft m.b.H., wissenschaftliche Fragen moderner Rechenautomaten und zugehöriger Randgebiete bearbeiten wird.

Die Forschungsgruppe steht unter der Leitung von Doz. Dr. *Heinz Zemanek*, der bisher an der Technischen Hochschule in Wien als Assistent tätig war und dort verschiedene Probleme auf den Gebieten der Nachrichtenübertragungstechnik, der Automation und der Kybernetik bearbeitet hatte. (In den vierzehn Jahren seiner Hochschultätigkeit entstanden zahlreiche Fachpublikationen und für sein Buch „Elementare Informationstheorie" erhielt Dr. Zemanek den Preis der Nachrichtentechnischen Gesellschaft im VDE [Verein Deutscher Elektrotechniker].)

Von 1956 bis 1959 entwickelte und erbaute *H. Zemanek* mit einem Stab ausgesuchter Absolventen des Instituts für Nachrichtentechnik der Technischen Hochschule den Transistor-Rechenautomaten „Mailüfterl" und eine Anlage zur Analyse und Synthese gesprochener Sprache. In den letzten beiden Jahren wurden mit dem Automaten logische Aufgaben und Lernstrukturen untersucht. Ein Formelübersetzer für die algorithmische Sprache ALGOL ist programmiert worden.
Mit Dr. *Zemanek* kommen eine Reihe seiner bisherigen Mitarbeiter, andere stoßen neu hinzu. Der Rechenautomat „Mailüfterl" ist durch die Firma IBM dem Staat abgekauft worden und wird der Gruppe mindestens so lange dienen, bis eine IBM-Anlage zur Aufstellung kommt. Für die Probleme der gesprochenen Sprache wird ein neues System aufgestellt; ein akustischer Raum und zahlreiche Meßgeräte ergänzen die Einrichtung.

Neben den genannten Arbeitsgebieten wird auch der Informationstheorie breiter Raum gewidmet werden. Die Gruppe hat enge Beziehungen zu anderen europäischen und amerikanischen Forschungsgruppen der IBM und wird auch mit den Instituten für Nachrichtentechnik der Technischen Hochschule und anderen einschlägigen Institutionen guten Kontakt halten.

Die neue Forschungsgruppe ist auf ihrem Gebiet die erste und einzige in Österreich. Sie ermöglicht es einer Reihe von Fachleuten in Österreich, wissenschaftliche Arbeit zu leisten und soll das wissenschaftliche Ansehen Österreichs auf diesem Gebiet weiter fördern.

Elektronische Auslesespeicher

Electronic permanent memories

Von E. SCHAEFER

Telefunken GmbH., Geschäftsbereich Anlagen Weitverkehr und Kabeltechnik, Backnang (Württ.).

Elektron. Rechenanl. 3 (1961), H. 5, S. 197—205
Manuskripteingang: 2. 10. 1961

Vielfach enthalten Nachrichtenspeicher Informationen, die nur selten geändert, aber häufig ausgelesen werden. Derartige Speicherinhalte speichert man wirtschaftlicher nicht in den löschbaren Arbeitsspeichern, sondern in sogenannten Auslesespeichern bzw. Festwertspeichern.

Es wird dargelegt, wie sich die gleiche Aufgabenstellung mit jeweils anderen Anforderungen innerhalb verschiedener Anwendungsgebiete wiederfindet. Sodann folgt die Skizzierung einiger in den letzten Jahren technisch realisierter Lösungen. Den Abschluß bildet die Aufzählung von Unterscheidungsmerkmalen mit deren Hilfe man die vielfältigen genannten Verfahren einordnen kann.

Often computer memories contain information which seldom must be changed, but which frequently must be read out. Such information can be stored more economically in so-called read-only memories, or permanent stores, than in the erasable working stores.

The paper shows how the same problem appears in several fields of application with different requirements. Then follow descriptions of some technical solutions which were developed during recent years. Lastly, distinguishing characteristics are brought forth wich may be useful in the classification of the methods described.

1. Einleitung

Unter einem Auslese- bzw. Festwertspeicher soll ein Nachrichtenspeicher verstanden werden, bei dem eine feste Zuordnung von Eingangs- und Ausgangsgröße besteht. Bei diesem Zuordner erscheint also beim Anwählen ein- und derselben Adresse am Ausgang immer dieselbe, vorher fest eingegebene Information.

Während beim elektronischen Arbeitsspeicher der Einschreib-, der Lese- und auch der Löschvorgang als rein elektronische Abläufe sich mit etwa der gleichen Geschwindigkeit vollziehen, geschieht beim Festwertspeicher nur das Auslesen des Speicherinhaltes elektronisch (read-only-memory). Dagegen erfolgt das Einschreiben und Löschen auf mechanischem Wege, d. h. die Schreib- und Lesegeschwindigkeit weichen um mehrere Größenordnungen voneinander ab.

Der Nachteil der Nichtlöschbarkeit fällt dann nicht ins Gewicht, wenn der Speicherinhalt selten geändert wird. In solch einem Fall wird man einem sonst gleichwertigen Festwertspeicher bevorzugen, wenn die Kosten pro Speicherzelle niedriger ausfallen. Ferner erscheint es mitunter vorteilhaft, daß nicht durch unbeabsichtigte elektrische Störimpulse die Zuordnung aufgehoben, d. h. der Speicherinhalt zerstört werden kann. Außerdem gibt es Anwendungsfälle, in denen der gespeicherte Inhalt für später von dokumentarischem Wert ist und nicht gelöscht werden darf. Bisweilen ergeben sich auch Zeitersparnisse, weil nach dem Auslesen kein Wiedereinschreibzyklus notwendig ist.

Um in manchen Betriebsfällen dennoch den Informationsinhalt rasch ändern zu können, ist man dazu übergegangen, die Speicherplatten als Steckeinheiten auszubilden, so daß sie durch vorbereitete andere Platten sehr rasch ersetzt werden können (semi-permanent-storage).

2. Aufgabenstellung [1], [2]

Bild 1 zeigt schematisch den Aufbau eines elektronischen Auslesespeichers. Die Aufgabe besteht darin, die festzuhaltende Information beliebig oft und zerstörungsfrei auslesbar zu machen. Dies geschieht vielfach durch ein kreuzschienenartiges Koppelfeld, bestehend aus den waagerechten Aufrufleitungen und den senkrechten Leseleitungen. Soll der Binärcode zur Anwendung gelangen, dann wird beim ja-Zeichen („L") an der Kreuzungsstelle ein Koppelelement eingefügt, bei einer nein-Aussage („O") fehlt es. Die m bit-Stellen eines Zeichens bzw. Wortes werden immer parallel d. h. gleichzeitig ausgelesen.

Nun ist aber nicht nur das Zuordnungsproblem auf möglichst rationelle Weise zu lösen, sondern es gibt auch noch ein Entschlüsselungsproblem. Soll beispielsweise ein Speicher mit 4096 Speicherzellen erstellt werden, so sind 4096 Adressendrähte als Eingangsleitungen heranzuführen. Erfolgt die Verschlüsselung der Adresse im Binärcode, so benötigt man nur 2.12 Eingangsleitungen. Zur Einsparung von Auswahlelementen entschlüsselt man in mehreren Stufen. Das geschieht aber nicht in mehreren aufeinanderfolgenden Wählerstufen, sondern man benutzt dazu vielfach Dioden-Und-Schaltungen sowie Matrixanordnungen mit Auswahlschaltern. Das dabei angewandte Koinzidenzprinzip bedingt eine nichtlineare Kennlinie des Auswahlelementes. Dagegen kann das Koppelelement auch eine lineare Kennlinie aufweisen. Ist einer von den 4096 Drähten, die zu den Speicherzellen führen, angewählt, dann löst ein Steuersignal den Treiberimpuls aus, und es erscheinen über die jeweils zugeordneten Koppelelemente an den Leseleitungen die Ausgangssignale.

3. Anforderungen

In der Rechenmaschinentechnik fordert man von einem Auslesespeicher vor allem eine kurze Zugriffszeit (t_z)[1]. Die

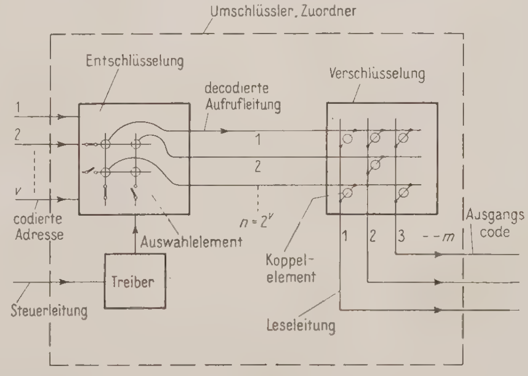


Bild 1. Schema eines elektronischen Festwertspeichers.

[1]) t_z = Zeitintervall zwischen Beginn der Adressierung bis zur Auslieferung des Speicherergebnisses.

Auslesezeit eines Wortes soll zwischen 0,5 . . . 5 μs liegen. Auch die Zykluszeit (t_c), d. h. das minimale Intervall zwischen zwei Auslesevorgängen sollte nicht mehr als den dreifachen Wert von t_z aufweisen. Der Bedarf an Speicherkapazität zur Aufnahme von Dienstprogrammen und häufig gebrauchten Tabellenwerten umfaßt etwa $10^3 \ldots 10^4$ Maschinenworte. Der Herstellungspreis einschließlich Elektronik darf höchstens ein Drittel der Kosten einer Arbeitsspeicherzelle[2]) betragen, damit ein Anreiz für Neuentwicklungen verbleibt [3], [4].

In der Telefonvermittlungstechnik braucht man Festwertspeicher zur automatischen Gebührenerfassung und zur Leitweglenkung [1], [5], [6], [7]. Verzoner beanspruchen weniger als 10^3 Worte. Ziffernzuordner (translator) benötigen dagegen bis zu 10^4 Worte bzw. Speicherzellen wobei zu einem Wort bis zu 60 bit gehören. Die an einen Zuordner gestellten Anforderungen erhöhen sich in der elektronischen Vermittlungstechnik. Jedoch erscheinen Zugriffszeiten im Bereich von 1—100 μs als ausreichend. Um zu mechanisch ruhenden Bauelementen zu gelangen, befinden sich zur Zeit Magnetkernspeicher [37], elektrooptische Verfahren [16] und kapazitive Festwertspeicher [50] in der Erprobung.

Ein weiteres Anwendungsgebiet sind die elektronischen Wörterbücher in der maschinellen Sprachübersetzung. *Yngve* [9] schätzt den minimalen Bedarf der Speicherkapazität auf $C_{\min} = 5 \cdot 10^3$ Wörter $\times$ 20 Buchst/Wort $\times$ 5 bit/Buchst $= 5 \cdot 10^5$ bit.

Nach einer Überlegung von *Wall* [8] sind dagegen erforderlich $2 \times 4 \cdot 10^5$ Wörter $+ 2 \cdot 10^5$ Wörter für Programme bei im Mittel 7 Buchst/Wort, d. h. $C_{\max} = 1 \cdot 10^6$ Wörter $\times$ 7 Buchst/Wort $\times$ 5 bit/Buchst $= 3{,}5 \cdot 10^7$ bit.

Da immer das Fremdwort neben dem gesuchten Wort steht, ist hierbei die bit-Zahl pro Wort besonders groß (bis zu 100 bit/Wort). Wie im Wörterbuch dienen die aufeinanderfolgenden Buchstaben einer Vokabel zur Adressierung. Daher können Serienspeicherverfahren zum Einsatz gelangen, weil bereits Wortsuchzeiten von 100 ms wirtschaftlich sind. Zur Zeit verdrängen die billigen elektro-optischen Verfahren [18] die anfänglich benutzten Magnetbänder.

Im kaufmännischen Anwendungsbereich wurde ein elektronischer Preiskatalog als Bestandteil der Datenverarbeitungsanlage des Versandhauses „Quelle" bekannt, der 29 000 Artikelnummern beinhaltete. Das entspricht einer Speicherkapazität von $5 \cdot 10^3$ Wörtern $\times$ 30 bit/Wort $= 1{,}5 \cdot 10^5$ bit, die durch einen statischen Zuordner mit nichtlinearen Schaltelementen mit einer Zugriffszeit von 20 μs realisiert worden ist [10].

Die größten Anforderungen in Bezug auf Billigkeit des Speicherplatzes und der Gesamtspeicherkapazität finden sich in der Bibliotheksarbeit. Um in großzügiger Weise mittels eines Indexkataloges die Literaturstellensuche durchzuführen, schätzte *Astrahan* [11] bei 10 Millionen Aufsätzen pro Jahr und 300 extrahierten Fachwörtern pro Aufsatz sowie 8 Buchstaben/Wort, einen Speicherbedarf von $C_{\max} \doteq 10^7$ Aufsätze $\times$ 300 Fachwörter/Aufsatz $\times$ 50 bit/Wort $= 1{,}5 \cdot 10^{11}$ bit.

Auch wenn sich noch weniger aufwendige Lösungen finden lassen, dann müßte bei beispielsweise 10^9 bit und 10^6 DM pro Anlage der Preis des Speicherplatzes unter 10^{-3} DM/bit bleiben. Andererseits darf die Suche nach einem Indexwort nicht mehr als Sekunden bis Minuten andauern.

4. Neuere technische Lösungen

a) Elektro-optische Festwertspeicher

Der Hauptvorteil von foto-optischen Festwertspeichern liegt in der großen erzielbaren Informationsspeicherdichte. Bis 10^3 Markierungen sind auf 1 mm unterscheidbar. Davon wurden bislang ausgenutzt 50 Linien/mm. Das bedeutet im Extremfall 10^8 bit/cm², was bei einer Filmdicke von 0,2 mm bestenfalls auf eine Speicherelementdichte von $D_e = 10^9 - 10^{10}$ bit/cm³ führt. Realisierbar mit Rücksicht auf alle Toleranzen erscheint eine Matrixspeicherdichte von $D_m = 10^6$ bit/cm³. Diese enorm hohe Speicherdichte bedeutet, daß man relativ leicht Speicher großer Kapazität auf engem Raum aufbauen kann. Wenn sich die Herstellkosten der teuren optischen Auslesevorrichtungen auf viele Speicherplätze verteilen lassen, dann wird auch die einzelne Speicherzelle erstaunlich billig. Die Problematik besteht vielmehr darin, den Inhalt schnell auslesen zu können. Dabei soll die Zugriffszeit möglichst unabhängig von der Adresse sein (random access). Um gegenüber dem konkurrierenden Magnetbandverfahren zu bestehen, leitet sich die Forderung nach einem günstigen Verhältnis von Speicherkapazität zur Zugriffszeit ab, das größer als $C : t_z = 10^9$ bit/sec sein müßte. Beispielsweise errechnet sich beim Photoscope-Speicher $C : t_z = 3 \cdot 10^7$ bit/50 ms $= 6 \cdot 10^8$ bit/sec. Aus dieser Forderung resultiert eine schnelle Relativbewegung zwischen Speichermedium und Leseeinrichtung. Die alleinige Bewegung des Filmes bei feststehendem Lichtstrahl und Lesekopf analog der üblichen Tonfilmtechnik erwies sich als unzureichend [13]. Die Idee, den fotographischen Wandler relativ zum unbewegten Speicherfilm zu verschieben mittels eines rotierenden trapezförmigen Spiegels, wurde bisher nur als Projekt publik [19]. Erfolgreich waren dagegen die Kombination von transversaler bzw. rotierender Bewegung des Filmes in einer Richtung und der Parallelauslese durch einen nahezu trägheitslosen bewegten Lichtstrahl in der dazu senkrechten Richtung. Dasselbe gilt, wenn man den Lichtstrahl vom Leuchtschirm einer Kathodenstrahlröhre auf einer feststehenden Speicherplatte in x- und y-Richtung auslenkt (zweidimensionale Suchmethode). Zur Erläuterung seien drei Beispiele näher beschrieben.

Bei dem Fotospeicher mit direktem Zugriff nach *Litz* und *Critchlow* [15] handelt es sich um ein Forschungsprojekt, welches zum Studium des Chalkney-Filmes realisiert wurde. Dieser Film, versehen mit einer organischen Substanz, erhielt eine ultraviolette Bestrahlung, entwickelte sich selbst und bekam an der vorgesehenen „bit"-Stelle einen roten rechteckigen Fleck ($0{,}025 \times 0{,}07$ mm²), der mit weißem Licht optimal bei 5750 Å auslesbar war. Es gelang, in 20 Schubladen zu je 10 Zellen mit 50 Filmstreifen pro Zelle 10 000 Filme folgender Abmessungen $200 \times 19 \times 0{,}07$ mm mechanisch herausgreifbar, eng nebeneinander anzuordnen. Auf jedem Filmstreifen befanden sich 20 Felder zu je 50 Linien pro Feld mit 100 Zeichen pro Linie. Diese 100 Zeichen konnten mittels eines Lichtstrahles nacheinander mit 100 kHz abgetastet werden, wobei jedes Zeichen 7 bit umfaßte. Jede bit-Stelle dieses immensen Speicherraumes war innerhalb einer Sekunde mittels einer präzisen hydraulischen Transportiermechanik zugänglich. 700 elektrostriktive Elemente am Eingang erlaubten die asynchrone Eingabe von Speicherdaten direkt von konventionellen Speichermedien ohne Pufferspeicher, indem sie unter Anlegung von einigen Hundert Volt sich um 0,2 mm auslenkten und so dem Lichtstrahl eines 2000 W Lichtbogens freien Zugang zu der zu belichtenden Filmstelle verschafften.

Lösungsansätze mit der Speicherschicht auf einer rotierenden Trommel sind wieder fallengelassen worden [13], [14]. Dagegen erregte der Photoscope-Speicher (vgl. Bild 3), erfunden von *King* und beschrieben von *Shiner* [18], einiges Aufsehen [26], [27], [29]. Es rotiert dabei eine Glasscheibe relativ zum Leser, wobei die Fotoschicht senkrecht zur Drehachse liegt. Zur Nutzung der großen Umfangsgeschwindigkeit verlaufen die 700 konzentrischen Informationsspuren im äußeren Kreisring. Ein elektrisch abgelenkter Elektronenstrahl wird an der Phosphorschicht einer Kathodenstrahlröhre in einen Lichtstrahl verwandelt, der

[2]) Vgl. „Vergleich neuer Speicherelemente für elektronische Rechenmaschinen", Elektronische Rechenanlagen 2 (1960), H. 4, S. 183—193.

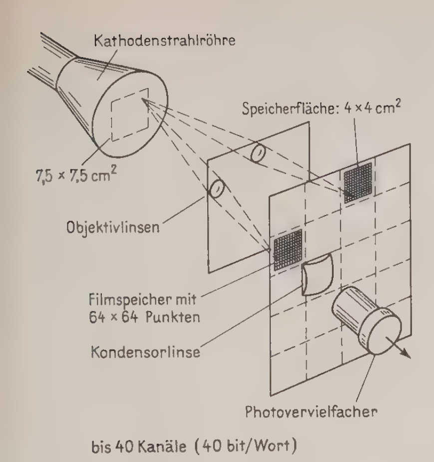


Bild 2. Elektro-optische Speicher: Flug-Lichtpunkt-Speicher.

radial sich bewegend die Speicherspur auswählt. In sinnvoller Weise repräsentieren aufeinanderfolgende weiß-schwarze Quadrate ($0{,}009 \times 0{,}009\ mm^2$) eine „L", schwarz-weiße eine „O". Es grenzen zwei Spuren immer so aneinander, daß abwechselnd eine weiße und eine schwarze Linie entsteht. Auf diese Weise kann beim Verlassen der Spur aus dem Weiß- bzw. aus dem Schwarzpegel durch Fotovervielfacher sofort ein Korrektursignal zur Rückregelung des Strahles abgeleitet werden. Zur 60fachen optischen Verkleinerung, Umwandlung der Linear- und Zirkularbewegung und wegen Codewechsels geschieht das Einschreiben der Information ($3 \cdot 10/$ bit) über den Umweg von 9 Filmrollen (70 mm breit), deren Erstellung etwa 7h beansprucht. Die Übertragung vom Film auf die Scheibe dauert nur 9 min. Dieser Speicher stellt das elektronische Wörterbuch des automatischen Sprachübersetzers Mark I (russisch-englisch) dar. Bei der hohen Ablesegeschwindigkeit von 10^6 bit/sec. betragen die Kosten pro bit nur ein Fünfzigstel eines entsprechenden Magnetbandverfahrens.

Ohne mechanische Relativbewegung arbeitet der „flying-spot-store". *Ryan* [14] beschrieb eine technische Ausführung mit Serienauslese. Der Speicher besteht aus Fotoplatten mit durchsichtigen und dunklen Punkten, die von einem in 2 Richtungen ablenkbaren Lichtstrahl, den eine Kathodenstrahlröhre erzeugt, abgetastet werden. Bei der verbesserten Ausführung wird der erzeugte Lichtstrahl mittels eines Linsensystemes gleichzeitig auf mehrere Linsen und Fotozellen verteilt, was eine Parallelauslese ermöglicht. Die Anforderungen an die Ablenkgenauigkeit mildert ein rückgekoppeltes Servosystem. Es wurde von der Bell Company ein Versuchsspeicher als Bestandteil eines neuen elektronischen Vermittlungssystemes erprobt [16, [20] bis [24] (vgl. Bild 2). Dabei erhielt die Röhre einen Raster von 64×64 Punkten, von denen jeder 4 Speicherkanäle und 5 Kontrollkanäle überstrich. Die Apparatur soll jedoch auf $256 \times 256 \times 40$ Kanäle $= 2{,}6 \cdot 10^6$ bit erweiterbar sein (zusätzlich 16 Servokanäle). Die Belichtungszeit ist kurz: 100 µs/Punkt. Später wurde der Entwicklungsvorgang automatisiert [23]. Die Zugriffszeit entspricht der Zykluszeit und ist abhängig von der Laufgeschwindigkeit des Strahles, der im Punkt-zu-Punktsprung wegen der Regelung maximal nur 3 Punkte/µs überspringt. Hinzu kommt noch die Einstellzeit für die Regelung auf das Punktzentrum (0,8 µs), damit die „L":„O"-Diskrimination 10 : 1 wird. Auf diese Weise kennzeichnete den Modellspeicher $t_{c\,min} = 1{,}2\ \mu s$ und $t_{c\,max} = 172\ \mu s$. Die Matrixspeicherdichte ist mit $D_m = 3 \cdot 10^3\ bit/cm^3$ recht hoch, doch setzen

Tabelle 1. Kenngrößen neuerer Festwertspeicherverfahren: t_z = Zugriffszeit, t_c = Zykluszeit, t_s = Schreibzeit eines Maschinenwortes mit m bit, D_m = räumliche Speicherdichte der Koppelelemente bezogen auf eine Gruppenanordnung bzw. Matrix, C = Speicherkapazität in Nachrichteneinheiten (bit), M = Modulgröße = Zahl der Maschinenworte auf einer Speicherkarte, d_m = Verhältnis der „L"-Signalamplitude zum „0"-Signal im Abfragezeitpunkt gemessen in einer Gruppe bzw. Matrix von Koppelelementen, n = Zahl der Worte, Zeichen oder Speicherzellen des Speichers, m = Zahl der Binärstellen, Nachrichteneinheiten oder Speicherplätze pro Wort.

	t_z µs	t_c µs	t_s sec	n Worte	m bit/Wort	$C = m \cdot n$ bit	M Worte/Karte	D_m bit/cm³	d_m „L":„O"	Lit.-Nr.
Fotospeicher mit Direktzugriff	$1 \cdot 10^6$	$3 \cdot 10^6$	0,5	10^7	700	$7 \cdot 10^9$	10^3	10^5	5:1	15
Lichtpunktspeicher	5		$0{,}3 \cdot 10^{-4}$	$6{,}5 \cdot 10^4$	76	$5 \cdot 10^6$	$6{,}5 \cdot 10^4$		10:1	17
Fotoscope-Speicher	$5 \cdot 10^4$		10^{-3}	$5 \cdot 10^5$	60	$3 \cdot 10^7$	$5 \cdot 10^5$	$8 \cdot 10^4$		18
Glimmröhrenspeicher	100	200	> 100	256	4	10^3		0,5		33
Supraleitfähigkeitsspeicher	< 0,01	< 0,01		10^4				$\sim 10^2$		34
hartmagnetischer Ringkern	16	32		$1{,}6 \cdot 10^4$	27	$4{,}3 \cdot 10^5$	64	~ 2	5:1	3
E-Kern-Festwertspeicher	1,5	2,5	500	4096	52	$2 \cdot 10^5$	256	16	4:1	3
Stabkernspeicher	0,1	0,2	~ 50	$8 \cdot 10^3$	52	$4 \cdot 10^5$	512		16:1	36
Magnetkarten-Twistor	1,5	5		512	26	$1{,}3 \cdot 10^4$	32	4	4:1	42
Doppelspulen-Twistor	0,3	2					64		4:1	45
Unifluxor-Speicher	0,2	0,35	1	64	50	$3 \cdot 10^3$	32	12	15:1	47
Kapazitäts-Festspeicher	8	10		10^4	10	10^5	20	1	4:1	50
Karten-Kapazitätsspeicher	0,1—0,2	< 0,3		$6 \cdot 10^3$	80	$5 \cdot 10^3$	12	50—100	10:1	51

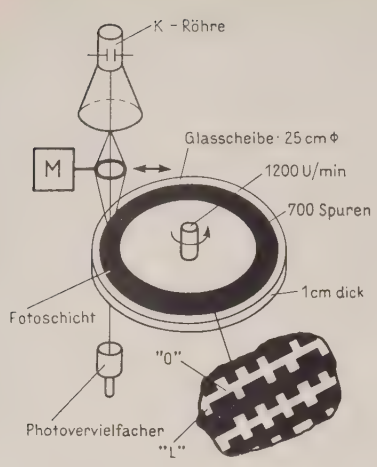


Bild 3. Elektro-optische Speicher: Photoscope Festspeicher.

die sperrigen optischen Auslesevorrichtungen die Gesamtdichte des Speichers beträchtlich herab ($D_s = 0{,}2$ bit/cm³). *Lovell* [17] berichtete von einem Lichtpunktspeicher für Rechenmaschinenanwendungen, der sich durch größeren und billigeren Speicherraum auszeichnet (vgl. Tabelle I). Hierbei wird einer von 256×256 Punkten auf einer Speicherfläche von $2{,}5 \times 2{,}5$ cm² parallel über $76 + 17$ Linsen projiziert. Sorgen bereitet das Altern des Phosphormaterials. Daher wurde auch der Vorschlag für eine mechanische Vibriereinrichtung der Röhre gemacht [25].

Neben den genannten Foto-Speichern sind die elektrolumineszenten Speicher als elektro-optische Festwertspeicher anzusprechen [31]. Hierbei befindet sich eine Phosphorschicht zwischen einem kreuzschienenartigen Leitersystem und bei elektrischer Anwahl eines Matrixpunktes leuchtet die umgebende Schicht auf. Eine darüber angeordnete Maske enthält bei einer ,,L'' ein gestanztes Loch, durch welches das Licht auf einen Fotovervielfacher fallen kann [28]. Kenndaten: $t_z = 0{,}2$—1 µs, $t_c = 20$—50µs, Dichte: 100—400 bit/cm². Matrixgröße: 32×32, möglich: 64×64.

b) Widerstands-Festwertspeicher

Das eingefügte Koppelelement zwischen den n Adressenleitungen und den m sich kreuzenden Leseleitungen kann im einfachsten Fall ein linearer ohmscher Widerstand sein.

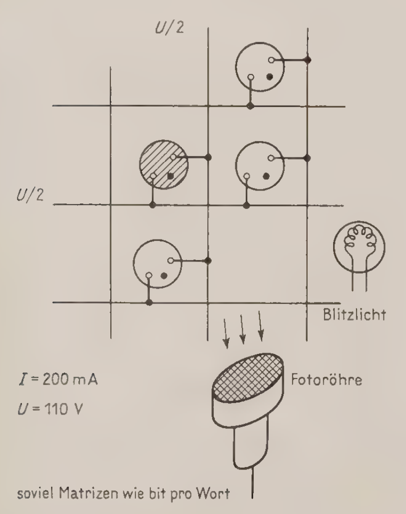


Bild 4. Widerstands-Festwertspeicher: Glimmröhren-Festwertspeicher.

Zur Unterscheidung des Ausgangssignals von Rückströmen muß sich dann in der nachfolgenden Leseleitung eine nichtlineare Verstärkungsschwelle befinden. Zweckmäßiger ist ein nichtlineares Koppelelement. Beispielsweise werden vielfach Diodenmatrizen als Codewandler oder Entschlüsselungsbaugruppen angewandt [32]. Man hat sogar schon Kohärer, die nach angelegter Zündspannung leitend werden, in Verbindung mit einer Glimmlampe bzw. Diode zur Unterbindung von Rückströmen in Erwägung gezogen, was in bezug auf schnelle mechanische Lösch- und Einschreibbarkeit Vorteile bieten soll (vgl. Patentauslegeschrift 1098743 vom 2. 2. 1961).

Raphael und *Robinson* [33] erprobten einen Glimmröhrenfestwertspeicher kleinerer Kapazität (vgl. Bild 4). Je nachdem, ob eine ,,L'' am Kreuzungspunkt ausgelesen werden soll oder nicht, wurde dort eine kleine Glimmlampe eingefügt. Da eine Glimmlampe bistabil arbeitet ($i = f_{(u)}$: S-Kennlinie), ist beim Abschalten ein Löschimpuls erforderlich. Die Lämpchen ordnete man in einer dunklen Kammer eng nebeneinander an. Jedes Aufleuchten verstärkte im Abfragezeitpunkt ein Fotovervielfacher. Zur Vorionisierung kam vor jeder Abfrage eine gesonderte Blitzlampe. Dieses recht einfache und für kleine Speicher billige Verfahren wurde in England auch für Zwecke der elektronischen Vermittlungstechnik eingesetzt. Bemerkenswert ist, daß bei dieser Lösung ein und derselbe Baustein die Auswahl- und Koppelfunktion erfüllt.

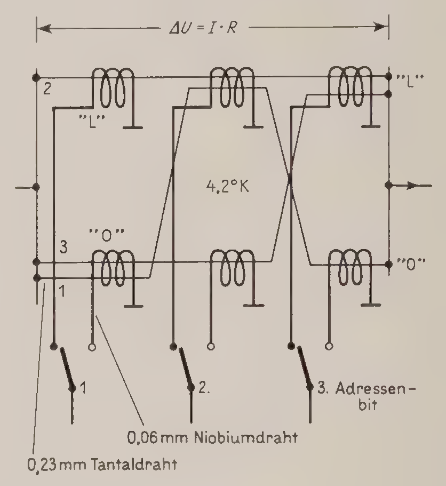


Bild 5. Supraleitfähigkeits-Festwertspeicher.

Man hat auch versucht, den Supraleitfähigkeitseffekt für Festspeicherzwecke zu nützen [34]. Bild 5 zeigt den Aufbau einer solchen Anordnung mit Hilfe von Cryotronpaaren. Ein Cryotron ist bekanntlich eine Spule aus ,,hartem'' supraleitenden Material, die, solange sie von einem Steuerstrom durchflossen wird und beispielsweise eine Feldstärke von 50 bis 100 Oe aufbringt, für diese Zeit den ,,weichen'' supraleitenden Tantaldraht innerhalb der Spule normalleitend macht. Soll beispielsweise der Draht 1 ausgewählt werden, dann müssen die Adressenschalter 1 und 3 an die ,,L''-Spulen und der Schalter 2 an die ,,O''-Spule gelegt werden. Alle Drähte, die durch die 1. und 3. ,,L''-Spule und die 2. ,,O''-Spule führen, werden dann normalleitend. Der Draht 1, der als einziger nicht durch diese Spulen geht, bleibt supraleitend, und es entsteht an den parallelgeschalteten Drahtenden kein Spannungsabfall (,,O''-Aussage). Wird der Wortdraht 1 nicht gefädelt, dann entsteht der Spannungsabfall $\Delta U = I \cdot R$ (,,L''-Aussage). Ein Speicher dieser Bauart zeichnet sich aus durch einfachen Aufbau und eine sehr kurze Zugriffszeit. Sie wird nur begrenzt durch das Verhältnis von Drahtinduktivität zum

Drahtwiderstand (etwa 10 nHy/5 Ohm bei 50 Abfragespulen). Jedoch ist von Nachteil die tiefe Arbeitstemperatur und die bei wachsender Drahtanzahl sinkende Diskrimination, weil dann der gemessene Spannungsabfall immer kleiner wird. Ferner erhöht sich mit wachsender bit-Zahl pro Wort der Fädelaufwand, da die Zahl der zu fädelnden Drähte nicht 2^v, sondern bis zu $m \cdot 2^v$ betragen kann. (In Bild 5 ist nur eine Anordnung dargestellt wobei $v = 3$ und $m = 1$).

c) Induktivitäts-Festwertspeicher

Magnetische Ringkerne sind billiger herzustellen als Halbleiterdioden oder Glimmlampen. Es lag daher nahe, sie als Koppelelemente zur Festwertspeicherung heranzuziehen. Jedoch gilt es hierbei ein Fädelproblem zu lösen. An den m Kernen eines Wortes muß entweder der Wortdraht daran vorbei („O") oder durch den Kern hindurch gefädelt werden, wenn eine „L"-Aussage fixiert werden soll, wobei die Sekundärwicklung den Lesedraht darstellt. Umgekehrt kann man auch den Wortdraht durch alle Kerne hindurchführen und den Lesedraht je nach dem festzulegenden Programm durch den Kern hindurch oder daran vorbei legen. *Wier* [35] beschreibt einen Festwertspeicher mit hartmagnetischen Ringkernen. Diese müssen nach jedem Auslesevorgang rückgestellt oder dauernd vormagnetisiert werden (vgl. Bild 6). Der Ringkern kann hierbei gleichzeitig Auswahl- und Koppelelement sein. Die Auslesezeit beträgt wenige Mikrosekunden, und es lassen sich Speicher bis 10^6 bit konstruieren. Anwendung fand dieses Prinzip in der Rechenmaschinentechnik [2], [3], [4] und in der Vermittlungstechnik [37]. Während das Auswahlelement bei Anwendung des Koinzidenzprinzipes nichtlinear und während der Zeit des Auswahlvorganges bistabil sein muß, braucht das Koppelelement bzw. der nachfolgende Leseverstärker nur nichtlinear aber nicht auch noch bistabil zu sein. Aus diesem Grunde kann man zur Zuordnung auch weichmagnetische Ringkerne in Verbindung mit einem nichtlinearen Element pro Wortdraht (beispielsweise eine Diode) einsetzen. Derartige Kerne liefern bei einem Zehntel des Treiberstromes für Rechteckferritkerne ein um eine Größenordnung höheres Ausgangssignal, so daß man als Auswahlelemente Transistorschalter verwenden kann und sich außerdem der Verstärkungsaufwand verringert.

Solange man mit geschlossenen magnetischen Kreisen arbeitet, muß beim Fädeln das Ringkernelement so oft in zwei Lagen bewegt werden wie Wortdrähte hindurchzuführen sind. Dieser Umstand verursacht bei enger Anordnung unter Umständen Drahtbrüche. Durch Verwendung von E-Kernen [3], die beim Fädeln geöffnet sind, bleibt der

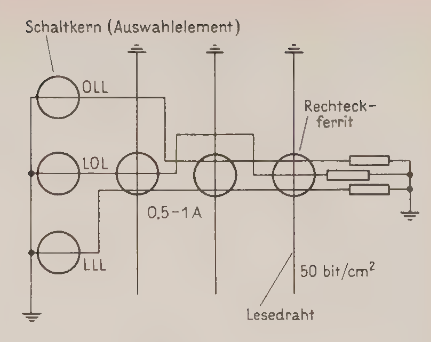
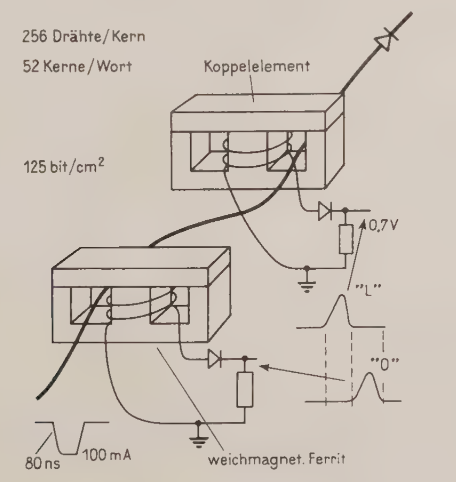


Bild 6. Ringkern-Festwertspeicher.

einmal eingelegte Wortdraht in Ruhe[3]). Die fehlerfreie Übertragung des Speicherprogrammes in die Speicherplatten gewährleistet eine lochstreifengesteuerte Fädelapparatur, die an jedem Kern angibt, ob der Draht in die eine („L") oder die andere Kammer („O") zu liegen kommt. Nach dem Fädeln wird der magnetische Kreis geschlossen. Der Einfluß der Scherung durch unterschiedliche Verschlüsse bleibt gering, sofern man Ferritmaterial niedriger Permeabilität verwendet. Die Benutzung von zwei Kammern pro bit-Stelle führt zu einer programmunabhängigen Treiberlast, erfordert jedoch eine Zeitselektion im Leseverstärker, weil sich die „L"-und „O"-Signale zunächst nur in ihrer Phase unterscheiden (vgl. Bild 7).

Einen anderen Weg beschritt man mit der Entwicklung des Stabkern-Festwertspeichers in England [36]. Dieser Speicher wird sowohl für Rechenmaschinen [39] als auch für Programmsteuerungen [38] gebaut. Das Koppelelement stellt eine Spule dar, in die man einen Stabkern schieben kann, d. h. man arbeitet mit einem offenen magnetischen Kreis (vgl. Bild 8). Befindet sich zwischen der Primärwicklung (Wortdraht) und der Sekundärwicklung (Lesedraht) kein Stabkern, so besteht nur die Luftkopplung, und es wird lediglich ein kleines Störsignal („0"-Aussage) übertragen. Durch Einfügen des Stabkernes erhöht sich die Hauptinduktivität des Übertragers um den Betrag der relativen Permeabilität des Ferrit-Materials, und es wird in der Sekundärwicklung ein entsprechend größeres Signal („L"-Signal) induziert, wenn der Treiberimpuls ausgelöst wird. Damit wegen des offenen magnetischen Kreises der Streufluß keine Störspannungen induziert, sind zwischen die eigentlichen informationsübertragenden Kerne Streuflußkerne vorgesehen, derart, daß immer ein Informationskern von vier Streuflußsaugkernen umgeben ist. Bestechend ist bei dieser Lösung die kurze Zugriffs- und Zyklus-Zeit,

[3]) Patent angemeldet unter der Bezeichnung: Magnetischer Informationsgeber und Verfahren zu seiner Verdrahtung, von *O. Müller* und *E. Schaefer* (angewandt beim TELEFUNKEN-Rechner TR 4).



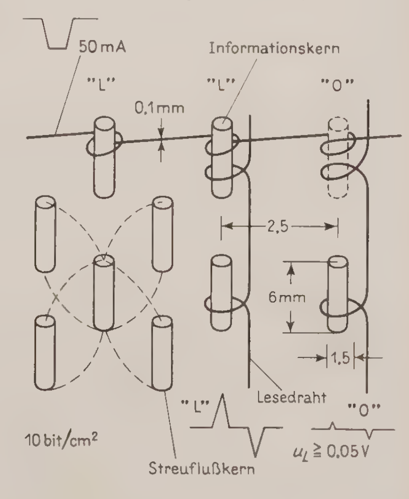
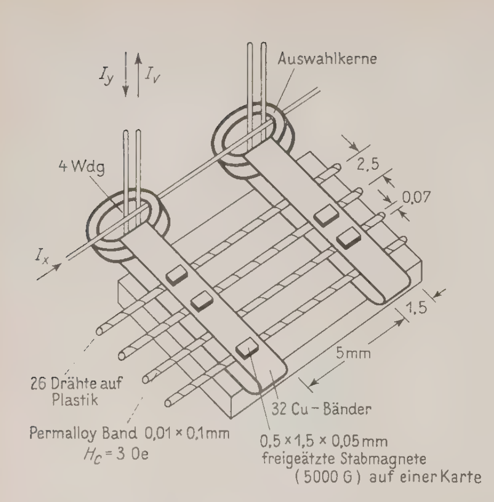
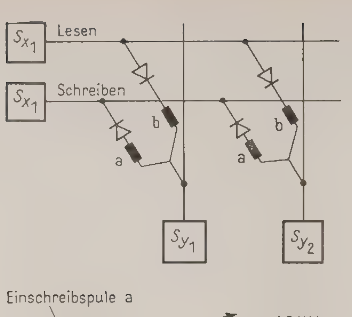


Bild 7, links.
E-Kern-Festwertspeicher.

Bild 8, rechts.
Stabkern-Festwertspeicher.





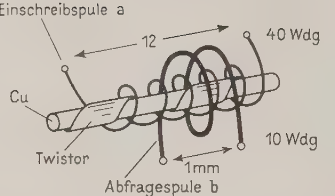


Bild 9, links
Magnetkarten-Twistor.

Bild 10, rechts.
Elektrisch änderbarer Twistorspeicher.

weil die Kapazität der Wortdrähte untereinander geringer ist. Die von *Kilburn* und *Grimsdale* angegebenen Zeiten von $t'_z = 0{,}1$ µs und $t'_c = 0{,}3$ µs gelten allerdings nur nach erfolgter Anwahl eines Speicherblockes (512 Worte). Hinzuzurechnen ist noch die Umschaltzeit von einem auf den anderen der 16 Speicherblöcke mit 1 µs. Ungünstig erscheint, daß die Ausgangssignale in ihrer Größe programmabhängig sind. Ferner erfordert die niedrige Spannungshöhe einen dreistufigen Leseverstärker. Da sich die erste Verstärkungsstufe direkt an der Lesewicklung befinden muß, kommt sie $16 \times 52 = 832$ mal vor. Während man bei der E-Kernmethode einen Kern mehrfach ausnützen kann, benötigt man bei der Stabkernmethode zwei Kerne pro bit, was einen ungünstigen flächenhaften Aufbau mit großen offenen Lesewicklungsschleifen bedingt. Bemerkenswert ist das beschriebene kleinere Versuchsmodell mit 10^5 bit, dessen Speicherinhalt mittels einer preßluftbetriebenen Apparatur (Ventilklappung durch Relais) in einer Minute ($t_s = 30$ ms) veränderbar ist, wobei ein kleinerer Stabkern (3×1 mm) innerhalb eines Plastikröhrchens in die andere Stellung gedrückt wird.

Bild 9 soll den Twistor-Festwertspeicher nach *Looney* [41] -[44] veranschaulichen. Das eigentliche Twistorelement dient zur Erzeugung des Lesesignales. Wenn einer der Auswahlkerne umschaltet, dann fließt durch das Kupferband ein Strom, der in dem Permalloyband die Magnetisierungsrichtung umkehrt, was wiederum an den Drahtenden einen Spannungsunterschied hervorruft. Über diese Anordnung von Kupferbändern und Twistordrähten kommt eine auswechselbare Karte mit einer Magnetschicht zu liegen, aus der rechteckförmige Magnetbezirke herausgeätzt wurden. Soll ein „0"-Signal auslesbar sein, dann verhindern diese kleinen Dauermagnete die magnetische Kopplung an der Kreuzungsstelle. Bei einem „L"-Signal fehlen sie. Der Aufwand an Treiberstrom (0,6 A/Wdg) zur Erzeugung eines Lesesignales von 8 mV ist relativ hoch. Entscheidend für die Entwicklung dieses Verfahrens war jedoch der Umstand, daß der Speicher räumlich beengt und unter extremen Temperaturbedingungen (bis + 200° C) in der Raketensteuerung funktionieren sollte. Beachtung verdient eine Variante nach *Gray* [45] (vgl. Bild 10). Es handelt sich dabei um einen Twistor-Speicher mit nichtzerstörender Informationsauslese, dessen ganzer Speicherinhalt elektrisch innerhalb weniger Sekunden veränderbar ist, d. h. mit einer relativ kurzen Veränderbarkeit des Festwertspeicherinhaltes, denn die Einschreibzeit pro Wort (t_s) beträgt nur wenige Mikrosekunden. Diese Ausführungsform wird normalerweise ohne Einschreibvorrichtungen geliefert, was eine Preissenkung ermöglicht. Auf Kundenwunsch ändert der Hersteller den Festspeicherinhalt durch Anschluß der Schreibeinrichtungen. Die genannten beiden Vorteile werden erkauft durch ein Doppelspulensystem und zwei Auswahldioden pro Wortdraht. Mit Hilfe der längeren Spule wird eingeschrieben. Mittels der zweiten Spule kann nur ein kleinerer magnetischer Bereich umgeklappt werden, der infolge des stärkeren vorherigen Feldes wieder zurückschnappt, so daß eine zerstörungsfreie Informationsauslese in Erscheinung tritt.

Ein erst kürzlich bekanntgewordenes Festspeicherprinzip ist das des Intersectrons [46]. Es beruht darauf, daß normalerweise bei einem stromdurchflossenen Leiter die Feldlinien in dazu senkrechten Ebenen verlaufen. Ordnet man zu diesem Primärdraht unter einem Kreuzungswinkel von 90° einen Lesedraht an, so wird darin keine Spannung induziert, auch wenn der Primärdraht in eine eingeschliffene Rille eines Ferritblockes mit hoher Permeabilität eingelegt wird. Legt man jedoch auf die Kreuzungsstelle ein kleines Ferritjoch beispielsweise unter einem Winkel von 45°, dann verlaufen die Feldlinien nicht mehr senkrecht zu dem Primärdraht, sondern in dem höher permeablen Material unter 45°, und es wird auf den Lesedraht ein Signal übertragen. Die Herstellkosten sollen ein Zehntel der von Ferritringkernanordnungen betragen. Die Zugriffs- und Zykluszeiten beanspruchen nur Bruchteile von Mikrosekunden, doch ist nicht bekannt, welche Speicherkapazitäten bei diesem Prinzip realisierbar sind.

Der Unifluxor-Festwertspeicher [47] arbeitet ebenfalls mit induktiver Kopplung [48]. Eine Leseleiterschleife kreuzt den Wortdraht. Da die Schleife symmetrisch zum Primärdraht angeordnet ist, sind die in den beiden Hälften der Schleife induzierten Spannungen gleich in der Amplitude, aber entgegengesetzt gepolt und heben sich daher auf. Es wird bei Einschalten des Treiberimpulses kein Ausgangssignal gemessen („0"-Aussage). Wird jedoch unsymmetrisch zum Kreuzpunkt eine Kupferfolie gebracht, die infolge der darin induzierten Wirbelströme den Feldaufbau auf der einen Seite der Leiterschleife hindert, dann wird das Induktionsgleichgewicht gestört, und man kann ein Signal („L") an den Leiterenden feststellen. Die gespeicherte Information befindet sich demnach in den gestanzten auswechselbaren Kupferfolien. Die Zugriffszeit wird wegen der geringen Wortdrahtkapazität lediglich durch die Schaltgeschwindigkeit der Auswahlkerne begrenzt. In der beschriebenen Versuchsanordnung mit 64 Worten × 50 bit/Wort $= 3{,}2 \cdot 10^3$ bit war ein Treiberstrom von 0,5 A nötig, um 8 bis 12 mV Ausgangssignal zu erzeugen. Der Arbeitstemperaturbereich ist groß, da die Temperaturabhängigkeit von magnetischen Materialien entfällt. Die Herstellkosten werden als niedrig bezeichnet (vgl. Bild 11).

d) Kapazitäts-Festwertspeicher

Grundsätzlich kann die Zuordnung auch über eine Kapazität erfolgen. *Petersen* und seine Mitarbeiter [51] realisierten die Idee, den umständlichen Fädelvorgang durch einen

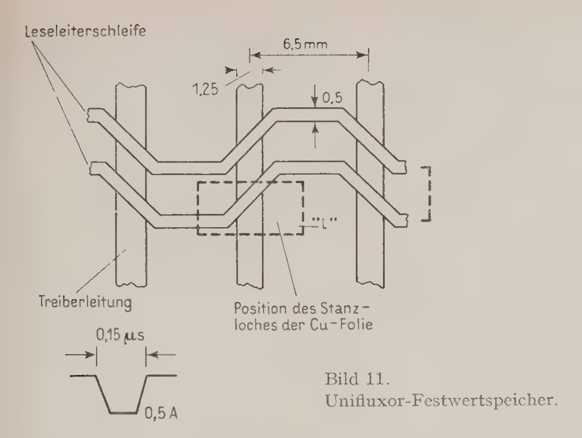


Bild 11.
Unifluxor-Festwertspeicher.

Lochstanzvorgang zu ersetzen. Zwischen gedruckte Karten mit isolierten, sich kreuzenden Leitern fügten sie eine gestanzte geerdete Metallfolie mit normalem Lochkartenformat ein (vgl. Bild 12). Entsprechend den $12 \times 80 = 960$ möglichen Stanzlöchern lassen sich ebensoviele Speicherplätze auf der Lochkarte unterbringen, was zu einer hohen Speicherdichte führt. Ebenso verdient die hohe Auslesegeschwindigkeit hervorgehoben zu werden. Allerdings geht die wegen der geringen Koppelkapazität ohnehin kleine Lesespannung proportional mit der Kartenanzahl (Modulgröße $M = 12$ Worte/Karte) zurück, was über 60 dB stabilierte Spannungsverstärkung zur Verwendbarkeit in einem Rechner erfordert. Durch *Gutermakher* [49] wurde ein russischer Festwertspeicher bekannt, der mit runden Kondensatorbelägen auf doppelseitig kupferkaschierten Karten versehen ist. An jeder bit-Stelle liegen zwei Beläge übereinander. Soll eine „0" eingespeichert werden, dann stanzt man die Verbindungswege zum Primärdraht oder Leseleiter weg. Die Speicherkapazität umfaßte 10^5 bit. Der Speicher diente für bibliothekarische Arbeiten.

Zum Einsatz als Ziffernumrechner (Translator) empfahl *van Goethem* [50] einen in Belgien entwickelten Kapazitäts-Halbfestwertspeicher (vgl. Bild 13). Die dafür entworfenen Speicherplatten enthalten pro Wortdraht einen Spalt bzw. Tasche, in die man auswechselbare Code-Streifen einschieben kann, welche an einer „L"-Stelle einen viereckigen Kupferbelag aufweisen. Dieser Belag befindet sich dann zwischen dem Dreiecksbelag des Lesedrahtes und des Wortdrahtes. Zum Zwecke der besseren Entkopplung sind die beiden Dreiecksbeläge seitlich gegeneinander versetzt. Mit

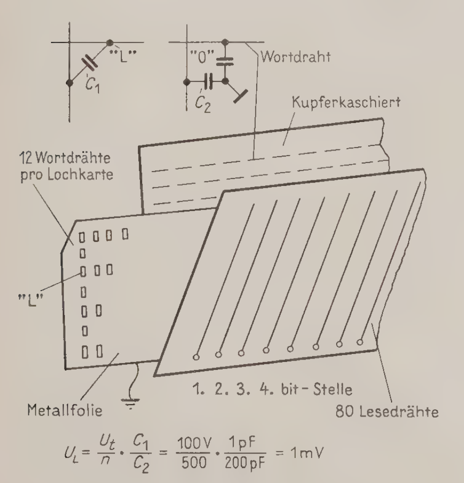


Bild 12. Karten-Kapazitäts-Festwertspeicher.

dem eingefügten „L"-Belag beträgt die Reihenkapazität etwa 2,5 pF. Das Nutzsignal beziffert sich auf ungefähr

$$U_C \approx U \cdot \omega \cdot C \cdot R_i$$
$$= 100\ \mathrm{V} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 0{,}33\ \mathrm{MHz} \cdot 2{,}5 \cdot 10^{-12}\ \mathrm{F} \cdot 10\ \mathrm{Ohm}$$
$$= 5\ \mathrm{mV}$$

Die Zykluszeit beträgt $t_c = 10\ \mu s$, da in diesem Zeitabstand abgefragt werden kann. Rechnerisch legt van Goethem dar, daß auch bei einem Speicher mit 10^4 Wortdrähten der Störstrom noch unter 20% des Nutzstromes bleibt.

Die Entschlüsselung würde weniger aufwendig und das Lesesignal unabhängiger von der Speichergröße, wenn man nichtlineare Kapazitäten als Koppelelemente verwenden würde. Leider sind diese noch nicht funktionssicher herstellbar. Schwenzfeger beschreibt beispielsweise eine Kristallmatrix mit ferroelektrischen Speicherelementen zum Feststellen der Identität der Teilnehmernummer eines Fernsprechteilnehmers. Zur Erhöhung der Sperrimpedanz sieht er pro Kreuzungspunkt zwei zueinander gegenseitig polarisierte, dauernd vorgespannte Kristalle vor (vgl. Auslegeschrift 1050384 vom 12. 2. 1959).

5. Einordnungsüberlegungen

Die Darlegung der vielfältigen Realisierungsmöglichkeiten für Festwertspeicher hat sich bisher nur auf elektrische Auslesespeicher erstreckt. Um diese Speicherverfahren und die nicht erörterten Festwertspeicher mit mechanischer Adressierung besser überblicken zu können, sollen abschließend noch einige Unterscheidungsmerkmale diskutiert werden, die vielleicht zum tieferen Verständnis der Festwertspeicherproblematik beitragen.

Als Symbol für einen Nachrichtenspeicher soll ein Kästchen gelten mit einem Adresseneingang, dem zugeordneten Speicherinhalt und der am Ausgang in Form von elektrischen Signalen auslesbaren Information. Ausgehend von dieser Formulierung ergeben sich folgende Unterscheidungsmerkmale (vgl. Bild 14).

I. Speicherkategorie. Zunächst sind die Arbeitsspeicher von den Festwertspeichern zu trennen. Speicher, die eine Mittelstellung einnehmen („überschreiben" möglich, aber keine willkürliche Löschung des Gedächtnisinhaltes), finden sich im biologischen Bereich[4]). Übrigens geht die Entwicklungstendenz dahin, die Geschwindigkeit mit der man den festgespeicherten Inhalt ändern kann, zu steigern (z. B. Lochen statt Fädeln), so daß sich die Unterschiede zwischen beiden Speicherarten zunehmend verwischen.

II. Adressiermodus. Bisher haben sich vorwiegend zwei Adressierarten bewährt, nämlich die Aufsuche der Speicherzelle auf rein mechanischem Wege oder die elektrische Adressierung. Im ersteren Falle wird das Speichermedium immer bewegt. Aus dem Grund kann die Zugriffszeit nicht beliebig verkürzt werden (höchstens ms). Derartige Verfahren wurden vielfach erprobt, fanden weite Verbreitung und sind daher inzwischen billig herstellbar. Die elektrisch adressierbaren Verfahren zeichnen sich dadurch aus, daß das Speichermedium in Ruhe bleibt. Die Zugriffszeit kann relativ einfach aus dem Millisekundenbereich bis zu Bruchteilen von Mikrosekunden verkürzt werden, jedoch ergeben sich hohe Herstellungskosten der Zuordnungselemente und einiger Aufwand für die Entschlüsselung der Adresse. Eine Kompromißlösung in bezug auf Schnelligkeit und Herstellpreis verkörpern die mechanisch-elektrisch adressierbaren Festwertspeicher [12], [18].

III. Speicherart. Eine weitere Unterscheidungsstufe bildet die Art der Informationsablagerung. Im einfachsten Fall erfolgt sie binär, d. h. die Information auf einer Leitung wird durch nur zwei Zuordnungszustände repräsentiert. Diese sogenannte digitale Informationsform bereitet der maschinellen Verarbeitung die geringsten Schwierigkeiten. Auch in analoger Form ist eine Abspeicherung möglich,

[4]) Vgl. Elektronische Rundschau, Bd. 14 (1960), Nr. 3, S. 79—84.

d. h. das Signal, welches die Information darstellen soll, kann z. B. bei der Übertragung auf einer Leiter mehr als zwei Zustände einnehmen. Diese Speicherart ist naturgemäß mit einer relativ hohen Speicherdichte verbunden, da das Koppelelement viele Informationsbit beinhaltet. Beispielsweise errechnet sich die Informationsspeicherdichte einer Langspielplatte zu

$$D_m = \frac{10^4 \text{ bit/sec} \cdot 2 \text{ Seiten} \cdot 20 \text{ min/Seite}}{15^2 \cdot \pi \cdot 0{,}26 \text{ cm}^3} = 1{,}3 \cdot 10^5 \text{ bit/cm}^3$$

Bei der Analogspeicherung benötigt man allerdings hochwertige, teure Abtastsysteme. Außer für die Speicherung von Sprache und Musik hat man sich daher dieser Informationsform wenig bedient. Auch Farbabtastsysteme sind mit beträchtlichem technischen Aufwand verbunden. Ein anderes neues Anwendungsgebiet wäre die Einspeicherung (d. h. verkleinerte und reproduzierbare Aufbewahrung) räumlicher Formen durch Kopierautomaten. Die Kombination analog-digital als gemeinsames Speicherverfahren widerspricht sich, da das eine das andere einschließt, und wurde daher für die folgenden Überlegungen außer acht gelassen.

IV. Ausgabeweise. Eine nicht grundsätzliche Differenzierung findet sich bei der Untersuchung von Speichersystemen, wenn man die Ausgabe der Information betrachtet. Entweder geschieht die Auslieferung über einen Übertragungskanal zeitlich in Serie, oder aber zeitlich parallel auf mehreren Kanälen gleichzeitig, wobei die Zahl der Kanäle gleich der bit-Zahl pro Wort ist, oder aber gleichzeitig serien-parallel. Die Ausführungsform ist oft eine Sache des Aufwandes, doch existieren auch Speicherverfahren, die nur in Serie auslesbar sind, z. B. Laufzeit-Festwertspeicher nach *Shook* [40]. Da bei der Analogspeicherung per Definition die Information schon pro Zeichen parallel ist, entfällt in der Klassifizierung der Einteilungsgesichtspunkt: „analog-parallel".

V. Übertragungsmodus. Im vorigen Kapitel wurde in den Abschnitten 4b, 4c, 4d beschrieben, wie nach erfolgter Anwahl des Wortdrahtes durch den Treiberimpuls die auszulesende Information durch direkte Übertragung der elektromagnetischen Energie an den m bit-Stellen in elektrische Leseimpulse verwandelt wurde. An die Stelle der direkten Kopplung kann auch die indirekte Kopplung treten. Als Beispiel seien die elektro-optischen Speicher genannt. Hierbei wird die elektrische Energie mittels eines Wandlers in einen Lichtstrahl verwandelt, der bei einer „0"-Aussage abgeblendet wird. Ein Fotovervielfacher pro Kanal führt die Rückwandlung in elektrische Energie durch. Im Grunde genommen handelt es sich um eine Frequenz-

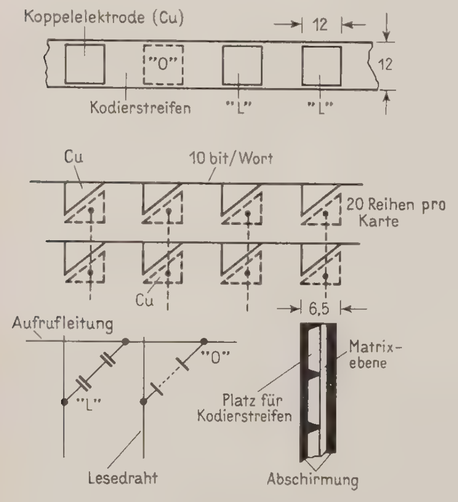


Bild 13. Kapazitäts-Halbfestspeicher.

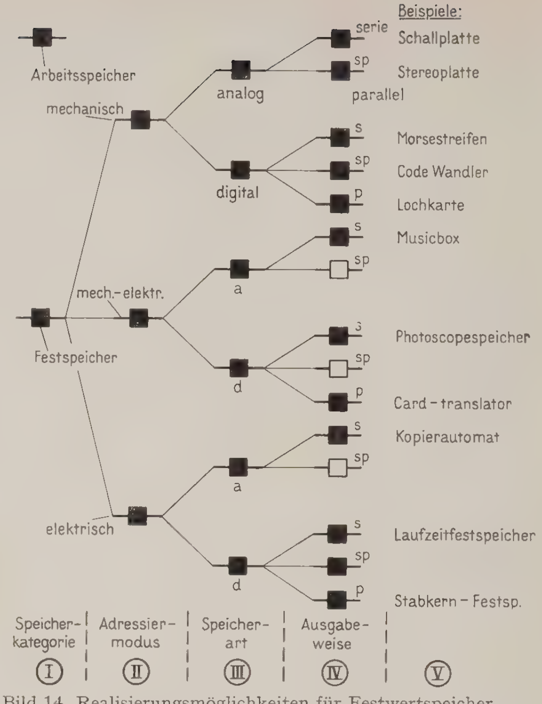


Bild 14. Realisierungsmöglichkeiten für Festwertspeicher.

umsetzung. Sinnvoll ist die Verlegung in Gebiete sehr kurzwelliger Strahlung, da sie eine scharfe Bündelung mit sich bringt. Das führt auch wieder zu einer sehr kompakten Speicherung, denn bei geradliniger Strahlfortpflanzung kann man die Speicherzellen dicht nebeneinander anordnen. Allerdings muß man in den Wandlern einen erheblichen Energieverlust in Kauf nehmen. Zudem liegen die Zeitkonstanten der bislang bekannt gewordenen elektrooptischen Wandler in der Größenordnung von Mikrosekunden und begrenzen dadurch die Zugriffszeit. Die Heranziehung mechanischer Wellen erlaubt lediglich eine Informationsauslese in Serie.

VI. Kopplungsart. Die direkte Kopplung teilt sich auf in galvanische, induktive oder kapazitive bzw. deren Kombinationen.

VII. Kennlinienverlauf. Im allgemeinen interessiert bei der Energieübertragung über Wandler nur dessen Konstanz und der Wirkungsgrad, nicht aber der Verlauf der Kennlinie. Für die direkte Kopplung ist dagegen das Vorhandensein einer linearen oder nichtlinearen Kennlinie von einiger Bedeutung, ferner die Art der Nichtlinearität.

Der Vorteil bei linearer Kopplung besteht darin, daß die Diskrimination (d_m) von „L"-Signal und „0"-Signal beinahe unabhängig vom Spannungspegel ist. Zur Unterbindung der Rückströme muß man dagegen ein sehr gutes Abschaltverhältnis der Auswahlelemente fordern oder neben den linearen Koppelelementen noch ein nichtlineares pro Auswahlleitung in Kauf nehmen. Der Einsatz von nichtlinearen Koppelelementen, die eine strom- oder eine spannungskonstante Kennlinie aufweisen, beseitigen zwar die Kopplungsnebenschlüsse, bedingen aber enge Betriebstoleranzen, weil man sich an die Amplitudenschwellen der Kennlinien halten muß. Besitzen die Koppelelemente eine Kennlinie, die eine bistabile Arbeitsweise zulassen (z. B. S- und N-Kennlinien oder Hysteresisschleifen), so muß man auch enge Strom- bzw. Spannungstoleranzen beachten und nach dem Auslesevorgang eine Rückstellung auf den Ausgangspunkt sicherstellen. Man hat jedoch den Vorteil, daß ein Bauelement gleichzeitig Koppel- und Auswahlfunktion übernimmt, was den Entschlüsselungsaufwand verkleinert. In Bild 15 sind einige der Kombinationen von linearen und

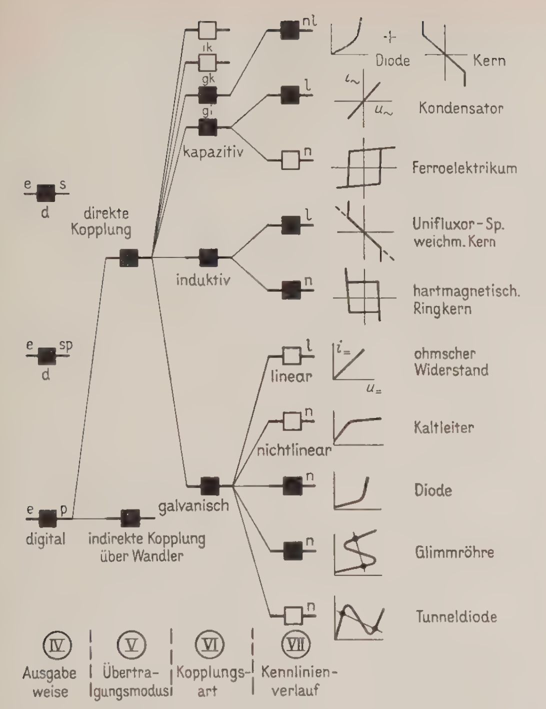


Bild 15. Variationsmöglichkeiten von elektrisch adressierbaren Festspeichern mit direkter Kopplung und Parallelausgabe.

nichtlinearen Kennlinien bei verschiedenen Kopplungsarten durchvariiert.

In Tabelle I sind noch einmal die Kenndaten neuerer Festwertspeicherverfahren zusammengestellt. Dabei ist zu erkennen, daß die elektro-optischen Speicher eine hohe Informationsdichte aufweisen. Mit $10^{-4} \ldots 10^{-2}$ DM/bit [15], [17], [18] benötigen sie von den genannten Verfahren die geringsten Herstellkosten, jedoch stört der umständliche Informationsumwandlungsweg. Die Widerstandsfestwertspeicher ergeben relativ hohe Kosten für ein Koppelelement (ab 1 DM/bit), weshalb sie meist nur für Zuordner kleiner Speicherkapazität in Frage kommen. Die magnetischen Verfahren kennzeichnen relativ kurze Zugriffszeiten ($t_z = 0{,}1 \ldots 10\ \mu s$) mittlerer Speicherkapazitäten ($10^3 \ldots 10^5$ bit) bei etwas geringeren Kosten (0,1 ... 1 DM/bit). Die kapazitiven Festwertspeicher versprechen niedrige Herstellkosten (0,01 bis 0,1 DM/bit) und schnelles Auslesen ($t_z = 0{,}1 \ldots 10\ \mu s$). Ihr Nachteil ist die geringe Lesespannung. Um genügenden Abstand von Störsignalen zu erhalten, ist zusätzlicher Aufwand an Verstärkung und Zeitselektion erforderlich, der wiederum die Erweiterung der Speicherkapazität begrenzt. Insgesamt werden also folgende Entwicklungstendenzen beim Festspeicherbau deutlich:

a) schnellere Einschreibbarkeit der Information,
b) kürzere Zugriff- und Zykluszeiten,
c) Speicher größerer Kapazität,
d) niedrigere Herstellkosten,
e) größere Betriebssicherheit,
f) größere Speicherdichte.

Literatur

A. Übersichtsaufsätze über Festwertspeicher

[1] *K. Steinbuch, H. Andres,* Elektrische Zuordner. Nachrichtentechnische Zeitschrift, 10 (1957), H. 6, S. 277—287.
[2] *J. A. Rajchman,* Computer memories—a survey of the state of the art. Proc. I.R.E., 49 (1961), H. 1, S. 104—127.
[3] *I. L. Auerbach,* European electronic data processing — a report on the industry and the state—of—the—art. Proc. I. R. E., 49 (1961), H. 1, S. 330—348.
[4] o. V., Computers today—Part II, the technology today. Electronics, 34 (1961), H. 17, S. 73—88.

B. Anwendungen von Festwertspeichern

[5] *H. H. Schneckloth,* Some basic concepts of translators and indentifiers used in telephone switching systems. Bell. syst. techn. Jour., 33 (1951), H. 3, S. 588 bis 625.
[6] *K. Hagenhaus, G. Tiesler,* Elektronisch gesteuerter Verzoner. Siemenszeitschrift, 26 (1952), H. 3, S. 94—99.
[7] *R. E. Hersey,* Machine memory in telephone switching. Bell Laboratory Record, 38 (1960), H. 1, S. 2—8.
[8] *R. E. Wall* jr., Some of the engineering aspects of machine translation of language. AIEE Transactions, Communication & Electronics 75 (Nov. 1956), Part I, H. 27, S. 580—585.
[9] *V. H. Yngve,* The technical feasibility of translating language by machine. Electrical engineering, 75 (1956), H. 11, S. 994—999.
[10] *H. Zschekel,* Aufbau und Funktionen des Informatik-Systems „Quelle", SEL-Nachrichten, 5 (1957), H. 4, S. 177—182.
[11] *M. M. Astrahan,* The role of large memories in scientific communications. I. B. M. Journal of research and development, 2 (1958), H. 4, S. 310—313, Datamation, 4 (1958), H. 6, 34—39.

C. Elektro-optische Festwertspeicher

[12] *L. N. Hampton, J. B. Newson,* The card translator for nation wide dialing. Bell. syst. techn. J., 32 (1953), H. 5, S. 1037—1098.
[13] *G. W. King, G. W. Brown, L. N. Ridenor,* Photographic techniques for information storage. Proc. IRE, 41 (1953), H. 10, S. 1421—1428.
[14] *R. D. Ryan,* A permanent high speed store for use with digital computers. IRE Transactions on Electronic Comp., 3 (1954), H. 3, S. 2—5.
[15] *F. A. Litz, A. J. Critchlow,* Direct access photomemory. Proc. West. Joint Comp. Conf. 6. bis 8. 5. 1958 (1959), S. 50—58.
[16] *C. W. Hoover* jr., *R. E. Staehler, R. W. Ketchledge,* Fundamental concepts in the design of flying spot store. Bell. syst. techn. J., 32 (1958), H. 5, S. 1161 bis 1194.
[17] *C. A. Lovell,* High-speed high capacity photographic memory. Proc. East. Joint Comp. Conf. (Dez. 1958) S. 34—38.
[18] *G. Shiner,* The USAF automatic translator Mark I. IRE National Convention Record Part 4 (1958), S. 296—304.
[19] *D. M. Baumann,* A high-scanning-rate storage device for computer applications. Jour. Ass. Comp. mach., 5 (1958), H. 1, S. 76—88.
[20] *C. W. Hoover* jr., *G. Haugk, D. R. Herriott,* System design of the flying spot store. Bell syst. techn. J., 37 (1959), H. 2, S. 365—401.
[21] *M. B. Purvis, G. V. Deverall, D. R. Herriott,* Optics and photography in the flying spot store. Bell syst. tech. J., 37 (1959), H. 2, S. 403—424.
[22] *L. E. Gallaher,* Beam-Positioning servo system for the flying spot store. Bell, syst. techn. J., 37 (1959), H. 2, S. 425—444.
[23] o. V., Photo-optical memory system with automatic plate processor. Engineer 209 (1960), H. 5428, S. 244.
[24] o. V., Elektro-optischer Speicher für elektronische Schaltanlagen. Elektronische Rundschau, 14 (1960), H. 8, S. 334—336.
[25] *D. C. Koehler, J. J. Madden,* Mechanical design of a flying spot store. Bell. Lab. Record, 38 (1960), H. 1, S. 14—17.
[26] o. V., Die elektronische IBM-Übersetzungsmaschine. Bürotechnik & Automation, 1 (1960), H. 10, S. 282—285.
[27] *N. Macdonald,* The photoscopic language translator. Computers & Automation, 9 (1960), H. 8, S. 6—8.
[28] *G. R. Hoffmann, D. H. Smith, D. C. Jeffreys,* High speed light output signal from electroluminescent storage systems. Proc. I.E.E., 107 (1960), Part B, H. 36, S. 599.
[29] o. V., Maschinelles Übersetzen von Fachliteratur, Elektronik, 10 (1961), H. 5, S. 85—87.
[30] *J. H. DeJong,* Optical Scanning equipment. Data processing (Detroit) 3 (1961), H. 1, S. 10—12.
[31] *D. H. Smith,* Electroluminescence — its characteristics and applications. Electronical Engineering, 33 (1961), H. 397, S. 164—170.

D. Widerstands-Festwertspeicher

[32] *R. K. Richards,* Digital computer components and circuits. D. van Nostrand. Comp. (1957), Kapitel: Diode switching circuits S. 59.
[33] *M. S. Raphael, A. S. Robinson,* Permanent digital function storage using neon tubes. IRE Transactions on Instrumentation, Bd. PGI-5 (1956), S. 53—59.
[34] *A. E. Slade,* The woven cryotron memory. Symp. on the theory of switching 2.—5. 4. 1957. Harvard University, Cambridge (1959), S. 326—333.

E. Induktivitäts-Festwertspeicher

[35] *J. M. Wier,* A high speed permanent storage device. IRE Transactions on Electronic Comp., 4 (1955), H. 1, S. 16—20.
[36] *T. Kilburn, R. W. Grimsdale,* A digital computer store with very short read time. Proc. I. E. E., 107 (1960), Part B., H. 36, S. 567—572.
[37] *F. P. Pace, B. Ostendorf* jr., A wired memory translator with shared access. Communication & Electronics (1960), H. 49, S. 216—220.
[38] o. V., Ferranti Argus plant control computer. Process control and automation, 8 (1961), H. 3, S. 106—108.
[39] *C. A. Devonald, J. A. Fotheringham,* The Atlas computer. Datamation, 7 (1961), H. 5, S. 23—27.
[40] *C. G. Shook,* A digital static magnetic wire storage with nondestructive read-out. IRE Transactions on Electronic Comput., 10 (1961), H. 1, S. 56—61.
[41] *R. P. Schneider, G. H. Barnes,* High-speed word-organized memory techniques. Electronic design, Bd. 7 (June 1959), S. 40—43.
[42] *D. H. Looney,* A twistor matrix memory for semipermanent information. Proc. West. Joint Comp. Conf. (3.—5. 3. 1959), S. 36—41.
[43] *J. J. De Buske, J. Janik* jr., *B. H. Simons,* A card changeable nondestructive read-out twistor store. Proc. West. Joint Comp. Conf. (3.—5. 3. 1959), S. 41—46.
[44] o. V., Fast electronic memory for computer application. Engineer, 209 (29. 4. 1960), H. 5440, S. 760.
[45] *R. L. Gray,* An electrically alterable nondestructive twistor memory. IRE Transactions on Electronic Comp., 9 (1960), H. 4, S. 451—455.
[46] o. V., Principle of operation of the intersectron. Telemeter Magnetics Comp., Advanced Development Division (Sept. 1960), S. 1—4.
[47] *A. M. Renard, W. S. Neumann,* Unifluxor, a permanent memory element. Proc. West. Joint Comp. Conf., Bd. 19 (3.—5. 5. 1960), S. 91—96.
[48] *Ch. L. Cohen,* Japaneese engineers seek better components. Electronics, 34 (1961), H. 17, S. 24—25.

F. Kapazitäts-Festwertspeicher

[49] *W. H. Ware,* Soviet computer technology. I. R. E. Trans. on Electronic Comp., 9 (1960), H. 1, S. 72—120 Abb. enthält: American Documentation, 10 (Jan. 1959), H. 1, S. 13.
[50] *J. van Goethem,* The capacitive semipermanent information store and its uses in telephone exchanges (Vortrag in London am 22.—24. 11. 1960), erscheint in Proc. I.E.E., Bd. 108 (1961), Part B.
[51] *H. R. Foglia, W. L. Dermid, H. E. Petersen,* Card capacitor — a semipermanent, read only memory. IBM Journal of research and development 5 (1961), H. 1, S. 67—68.

ALGOL-Manual der ALCOR-Gruppe

Teil 1

ALGOL Manual of the ALCOR group

Part 1

Herausgegeben von den Mitgliedern
der ALCOR-Gruppe
Bearbeitet von R. BAUMANN, Mainz

Elektron. Rechenanl. 3 (1961), H. 5, S. 206—216
Die vorliegende Arbeit wurde abgeschlossen im März 1961. Einige Angaben wurden auf den neuesten Stand gebracht.

ALGOL 60 ist das Ergebnis langjähriger Bemühungen um eine internationale algorithmische Formelsprache (ALGOL: algo*rithmic* l*anguage)*[1]. *Neben der Verwendung in Publikationen zur Beschreibung von Algorithmen soll ALGOL vorwiegend als Programmierungssprache dienen. Die in ALGOL formulierte Aufgabe wird durch die Rechenmaschine mittels eines Übersetzungsprogramms in ein internes Maschinenprogramm übersetzt. Für jeden Rechenmaschinentyp ist ein eigenes Übersetzungsprogramm zu entwickeln.*

Um die Vereinheitlichung auch auf die Übersetzungsprogramme auszudehnen und zum Zwecke des Erfahrungsaustausches haben sich im Jahr 1959 mehrere Institutionen zur ALCOR-Gruppe zusammengeschlossen (ALCOR: algol con*ver*ter*).*

Den Übersetzern innerhalb der ALCOR-Gruppe liegen einheitlich logische Pläne zugrunde, die auf Arbeiten der Arbeitsgruppe Zürich—München—Mainz—Darmstadt beruhen, die seit dem Jahre 1957 laufen. Die Unterlagen für die Übersetzer wurden vom federführenden Mainzer Institut mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft in regem Kontakt mit den einzelnen Mitgliedern der ALCOR-Gruppe ausgearbeitet. Über die Grundlage des ALCOR-Verfahrens wurde gesondert berichtet[2]*.*

Die einzelnen Übersetzer unterscheiden sich lediglich hinsichtlich Bedienung und gewisser Kapazitätsbeschränkungen voneinander. Die diesbezüglichen Angaben sind in speziellen Anhängen zu diesem Manual enthalten.

Inzwischen haben sich einige andere Institutionen durch Übernahme der ALCOR-Konventionen für ihre eigenen Übersetzer der ALCOR-Gruppe angeschlossen.

Mitglieder der ALCOR-Gruppe sind gegenwärtig:

Institut für Angewandte Mathematik der Eidgenössischen Technischen Hochschule, Zürich,
Rechenzentrum der Technischen Hochschule München,
Institut für Angewandte Mathematik der Universität Mainz,
Institut für Praktische Mathematik der Technischen Hochschule Darmstadt,
Zentral-Laboratorium der Siemens & Halske AG, München,
Institut für Angewandte Mathematik der Universität Bonn,
IBM-Forschungsgruppe Wien,
Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tenn.,
Telefunken GmbH, Backnang,
Zuse KG., Bad Hersfeld,
Dr. Neher Laboratory of the Netherlands Postal- and Telecommunications Services, Leidschendam,
Standard Elektrik Lorenz AG, Informatikwerk, Stuttgart,
IBM - Deutschland, Sindelfingen.

In Kopenhagen wurde im Februar 1959 von den damaligen europäischen ALGOL-Interessenten eine Vereinbarung über den zu verwendenden 5-Kanal-Lochstreifencode getroffen. Dieser Code weicht nur geringfügig vom internationalen Fernschreibcode CCIT 2 ab und wird ALCOR CCIT genannt. Innerhalb der ALCOR-Gruppe ist deshalb volle Austauschbarkeit der ALGOL-Programme und Lochstreifen gewährleistet.

In Oak Ridge wird ein 8-Kanal-Lochstreifencode mit einer von ALCOR CCIT abweichenden Codierung der ALGOL-Symbole verwendet. Zwischen dieser Codierung und ALCOR CCIT bestehen Umwandlungsmöglichkeiten.

Das vorliegende Manual gilt für Übersetzer der ALCOR-Gruppe, die zur Ein- und Ausgabe 5-Kanal-Lochstreifen verwenden. Für Übersetzer mit einer Lochkarten-Ein- und Ausgabe kann die Darstellung der ALGOL-Symbole durch Lochkartenzeichen so festgelegt werden, daß diese Beschreibung verwendbar bleibt.

Praktische und didaktische Erfahrungen, die in Mainz, München und Zürich seit Anfang des Jahres 1959 bei der Verwendung von ALGOL gemacht wurden, sind in diesem Manual berücksichtigt. Bei der Abfassung wurden Aufzeichnungen von F. L. Bauer, M. Paul, H. Rutishauser, K. Samelson, J. Stoer, H. R. Schwarz, K. H. Wiehle und Ch. Witzgall benutzt, die in Mainz, München und Zürich zunächst für interne Zwecke entstanden sind.

ALGOL 60 is the result of several years of efforts to create an international algorithmic formula language (ALGOL: algo*rithmic* l*anguage)*[1]. *ALGOL is intended to serve both as a means for publishing algorithms and as a programming language. Problems formulated in ALGOL are translated into machine programs by the computer by means of a translating program. For each type of computer a distinct translating program must be developped.*

In order to unify even the translating programs and to exchange experiences as well as programs several institutions joined in 1959 to form the ALCOR group (ALCOR: Algol *conver*ter*).*

The different translators within the ALCOR group were based on common logical plans originating from the work of the ZMMD group (Zürich-München-Mainz-Darmstadt) which was begun in 1957. The specifications for the translators were produced by the Institute for Applied Mathematics, Mainz, in close contact with the members of the ALCOR group. The work was supported by the Deutsche Forschungsgemeinschaft. A report on the basis of the ALCOR method was given elsewhere[2]*.*

The translators differ only with respect to mode of operations and certain capacity restrictions. The respective data are contained in special appendices to this manual.

Recently some other institutions joined the ALCOR group by adopting the ALCOR conventions for their translators.

---

[1]) Report on the algorithmic language ALGOL 60. J. W. Backus et. al. Num. Mathematik 2 (1960), S. 106—136

[2]) F. L. Bauer und K. Samelson: Sequentielle Formelübersetzung. Elektronische Rechenanlagen 1 (1959), S. 176—182.

At present, members of the ALCOR group are:

Institut für Angewandte Mathematik der Eidgenössischen Technischen Hochschule, Zürich,
Rechenzentrum der Technischen Hochschule München,
Institut für Angewandte Mathematik der Universität Mainz,
Institut für Praktische Mathematik der Technischen Hochschule Darmstadt,
Zentral-Laboratorium der Siemens & Halske AG, München,
Institut für Angewandte Mathematik der Universität Bonn,
IBM-Science Group Vienna,
Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tenn.,
Telefunken GmbH, Backnang,
Zuse KG, Bad Hersfeld,
Dr. Neher Laboratory of the Netherlands Postal- and Telecommunications Services, Leidschendam,
Standard Elektrik Lorentz AG, Informatikwerk, Stuttgart,
IBM-Deutschland, Sindelfingen.

In the course of a meeting in Kopenhagen in February 1959 a number of European computer installations interested in ALGOL agreed upon a common 5 channel punched tape code. This code deviates only slightly from the international teletype code CCIT 2 and is called ALCOR CCIT. Therefore complete exchangeability of ALGOL programs and punched tapes is guaranteed within the ALCOR group.

In Oak Ridge an 8 channel punched tape code is used and therefore the way of encoding ALGOL symbols is different from the one used by ALCOR CCIT. Transformation of these codes into one another is possible.

The present manual is valid for the translators of the ALCOR group using 5 channel punched tape for input—output. For translators with punch card input—output the representation of ALGOL symbols by punch card characters can be defined in such a way that this description remains applicable.

Practical and teaching experiences made with ALGOL in Mainz, Munich, and Zurich since the beginning of 1959 have been incorporated into this manual. Contributions were made by F. L. Bauer, M. Paul, H. Rutishauser, K. Samelson, J. Stoer, H. R. Schwarz, K. H. Wiehle, and Chr. Witzgall.

GLIEDERUNG

Teil 1

Einführung

1. Grundsätzliches zur Arbeitsweise und Leistungsfähigkeit von digitalen Rechenanlagen

Die programmgesteuerte digitale Rechenanlage ist für den quantitativ arbeitenden Wissenschaftler ein Werkzeug von erstaunlicher Leistungsfähigkeit. Es sollte unmittelbar einleuchten, daß der Einsatz eines solchen Werkzeuges eine gründliche Vorbereitung erfordert. Daher wollen wir uns zunächst, bevor wir auf die Methoden der Programmierung, d. h. der Aufstellung von Arbeitsvorschriften für die Rechenanlage näher eingehen, kurz über den Umfang und Ablauf dieser Vorbereitungsarbeiten orientieren.

Die Rechenanlage ist kein Orakel. Auf die ohne nähere Angaben gestellte Frage, wie wohl das Wetter am nächsten Wochenende sein wird, bleibt sie die Antwort schuldig. Dagegen kann sie bei entsprechender Vorbereitung aus Meßwerten atmosphärischer Zustandsgrößen Daten berechnen, die es dem Meteorologen gestatten, auf Grund einer meteorologischen Theorie das Wetter von morgen vorherzusagen. Die Verantwortung trägt dabei der Meteorologe, und die Vorhersage ist so gut wie die Theorie, die als Grundlage der Rechnungen diente.

Anders ausgedrückt: die Rechenanlage kann nichts tun, was der Benutzer nicht prinzipiell auch tun könnte, sie kann es nur schneller. Sie gibt keine Antwort auf vage Fragen, sondern kann nur nach präzisen Vorschriften arbeiten. Von dem ursprünglichen Problem, das gelöst werden soll, bis zu dieser Arbeitsvorschrift ist aber gewöhnlich ein weiter Weg. Er beginnt mit einer Mathematisierung des Problems, d. h. mit der Aufstellung eines mathematisch faßbaren Modells für das zu behandelnde Phänomen.

Normalerweise besteht die mathematische Fassung aus einer Reihe von Bedingungen für die Kenngrößen, die bestimmte wesentliche Züge des Phänomens quantitativ beschreiben, wie etwa im Fall des Wetters Luftdruck, Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit usw. Diese Bedingungen sind der Rechnung im allgemeinen noch nicht zugänglich. Vielmehr muß meist nach Verfahren gesucht werden, nach denen die Bedingungen erfüllende Werte für die Kenngrößen (falls solche existieren) berechnet werden können. Die Entwicklung oder Auswahl des Lösungsverfahrens ist die wichtigste Aufgabe im mathematischen Teil der Behandlung des Problems, die mit größter Sorgfalt durchgeführt werden muß, da eine unsachgemäße Behandlung völlig irreführende Ergebnisse liefern kann.

Normalerweise lassen sich nur Näherungen berechnen, da die exakten Lösungen des Problems sich erst aus numerisch nicht durchführbaren Grenzübergängen ergeben. Dann muß man sich schon bei der Entwicklung des Verfahrens über die Güte der erzielbaren Näherungen Rechenschaft ablegen. Dabei ist es häufig zweckmäßig, zu klären, ob das Näherungsverfahren einer tragbaren Modifikation der ursprünglichen Modellvorstellung entspricht.

Ein solcher Fall liegt z. B. vor, wenn die Potential- und Stromverteilung in einer metallisch leitenden Platte berechnet werden soll und man hierzu ein Differenzenverfahren benützen will. Dies entspricht der Ersetzung der Platte durch ein Netz von Leitungsdrähten, und der Physiker kann unter Umständen leicht entscheiden, ob dieses Modell für ihn noch brauchbar ist, während die Frage nach der Güte der Näherung vom mathematischen Standpunkt in Allgemeinheit sehr schwer zu beantworten ist.

Hat man sich für ein bestimmtes Lösungsverfahren entschieden, so kann mit der Vorbereitung der eigentlichen Rechenarbeit begonnen werden. In einfachen Fällen ist diese Arbeit völlig trivial. Soll etwa eine in einem Lehrbuch oder einer Formelsammlung angegebene Formel einmal ausgewertet werden, so nimmt man die Auswertung am schnellsten direkt vor. Soll die Arbeit von einer Hilfskraft ausgeführt werden, so gibt man ihr das Buch und die für die Durchrechnung nötigen Zahlen. Wird die Aufgabe komplizierter, so muß man aufschreiben, was getan werden soll, und zwar um so genauer, je mehr zu tun ist und je weniger Einsicht in die Aufgabe man von der Hilfskraft erwarten kann.

Die Rechenmaschine ist nur eine Hilfskraft, die überhaupt keine Einsicht in das hat, was sie tut. Daher muß man ihr eine Arbeitsvorschrift geben, die bis ins kleinste Detail hinein den Ablauf der durchzuführenden Arbeiten eindeutig festlegt. Die Maschine führt diese Vorschrift buchstabengetreu aus. Was geschieht, wenn man ihr eine An-

weisung gibt, die in ihrem beschränkten Repertoire nicht enthalten ist, läßt sich nicht allgemein vorhersagen. Es kann sein, daß sie die Arbeit einstellt und damit zeigt, daß etwas nicht in Ordnung ist. Ebensogut aber kann sie in unsinniger Weise weiterarbeiten, ohne daß sich das sofort feststellen läßt. Daher erfordert die Ausarbeitung der Arbeitsvorschrift — des Programms — für eine Rechenmaschine große Sorgfalt, insbesondere eine genaue Aufstellung und Behandlung aller möglichen Sonderfälle.

2. Programmierung

Es ist selbstverständlich, daß die Arbeitsvorschriften, die wir der Maschine geben wollen, schriftlich niedergelegt sein müssen. Wir können aber dabei nicht unsere Umgangssprache benutzen und der Maschine ihre Instruktionen in Form eines Briefes oder Diktates geben. Wir müssen vielmehr die zu verwendende Sprache den Fähigkeiten der Maschine anpassen.

Obwohl die Rechenanlagen für sehr viel allgemeinere Aufgaben eingesetzt werden können, stellen wir zunächst das Rechnen, genauer das schulmäßige Rechnen mit Zahlen, in den Vordergrund. Für die Darstellung von Rechenvorschriften gibt es eine in langer Tradition verankerte Sprache, nämlich die der arithmetischen Formeln. Solche Formeln, die neben Zahlen Variable als Namen für Zahlen, die bei der Aufstellung der Rechenvorschrift noch unbekannt sind, und Funktionen (wie sin, cos, ln, exp usw.) enthalten können, bilden den Kern der Niederschrift. Sie sind in den meisten Fällen in eine Folge von organisatorischen Anweisungen eingebettet, die den Ablauf des Rechenprozesses festlegen. So können z. B. Bedingungen angegeben werden, von denen die Ausführung von Teilen der Rechnung abhängig sein soll oder es kann vorgeschrieben werden, wie oft ein Teilstück zu wiederholen ist. Dabei wird die für den Rechen*automaten* grundlegende Fähigkeit ausgenutzt, an festgelegten Stellen des Rechnungsablaufes nach festgelegten Kriterien selbsttätig Entscheidungen treffen zu können.

Schließlich müssen der Maschine noch Art und Umfang der in die Rechnung eingehenden (Eingabedaten) und als Resultate abzugebenden (Ausgabedaten) Zahlenwerte mitgeteilt werden. Eine derart vervollständigte Niederschrift, die den Verlauf einer Rechnung vom Anfang bis zum Ende eindeutig festlegt, nennen wir ein *Programm*.

Das Programm muß aber nicht nur in rechnerischer und organisatorischer Hinsicht auf die Fähigkeiten der Rechenanlage ausgerichtet sein. Die mangelnde Intelligenz der Rechenanlage verlangt außerdem, daß die Sprache selbst nach strengen Regeln gebildet ist.

Das vorliegende Manual erläutert die standardisierte Formelsprache ALGOL (engl. *algo*rithmic *l*anguage), die auf internationalen Vereinbarungen beruht. ALGOL-Programme sind weitgehend von den speziellen Eigenschaften einzelner Rechenanlagen unabhängig und für einen weiten Kreis von Interessenten bequem lesbar. In zunehmendem Maße werden allgemeine Rechenverfahren und Programme für spezielle Aufgaben in ALGOL beschrieben und publiziert.

3. Codierung

Überdies muß die Art der Niederschrift so sein, daß die Rechenanlage das Programm aufnehmen kann. Das auf Papier gebrachte Programm sowie alle zugehörigen Eingabedaten müssen also auf Eingabemedien der jeweiligen Anlage in einem bestimmten Code niedergeschrieben werden. Zur Codierung dienen schreibmaschinenartige Geräte mit eingebauten Stanzvorrichtungen, Blattschreiber oder Flexowriter für Lochstreifen, Handlocher für Lochkarten. Die bei der Niederschrift auf Blattschreiber bzw. Flexowriter entstehenden Protokolle in Maschinenschrift stehen dem Maschinenbenutzer als Arbeitsunterlagen zur Verfügung. Zur Eingabe in die Maschine werden nur die Lochstreifen bzw. Lochkarten verwendet. Das vorliegende Manual ist auf die Verwendung von 5-Kanal-Lochstreifen abgestellt. Einzelheiten über die Codierung finden sich in Anhang 1a dieses Manuals[3]). Die Codierung unter Verwendung von Lochkarten weicht geringfügig von der Lochstreifen-Codierung ab. Im weiteren Text stützen wir uns auf die Symbole der Lochstreifen-Codierung.

4. Bedienung

ALGOL-Programme können in eine Rechenanlage erst dann eingegeben werden, wenn der für diese Anlage bestimmte ALCOR (ALGOL CONVERTER) in der Maschine verfügbar und der Programmlesezustand hergestellt ist. Der weitere Ablauf ist dann im Regelfall zwangsläufig. Das schließt jedoch nicht aus, daß vom ALCOR her dem Benutzer noch gewisse Möglichkeiten zur Beeinflussung des Ablaufes eingeräumt werden können. Der ALGOL-Benutzer muß einiges über die Eingabe der Programme in die Rechenanlage, an der er arbeitet, und über die weitere Bedienung wissen. Diese von Anlage zu Anlage wechselnden Einzelheiten sowie gewisse Kapazitätsbeschränkungen sind jeweils in den Anhängen 2 und 3 zu diesem Manual zusammengestellt.

5. Einführende Beispiele

Zwei sehr einfache Beispiele sollen auf einige wesentliche Gesichtspunkte hinweisen, die bei der Verwendung von automatischen Rechengeräten zu beachten sind.

Beispiel 1:

Gegeben sei ein lineares Gleichungssystem mit zwei Unbekannten

$$2x + 3y = 5,$$
$$3x + 5y = 4.$$

Nach der Cramerschen Regel ergibt sich folgende Lösung:

$$x = \frac{5 \cdot 5 - 4 \cdot 3}{5 \cdot 2 - 3 \cdot 3}, \quad y = \frac{2 \cdot 4 - 3 \cdot 5}{5 \cdot 2 - 3 \cdot 3}. \tag{1}$$

Wir werden also der Maschine Anweisung geben, die auf der rechten Seite von (1) stehenden Ausdrücke auszurechnen und die resultierenden Zahlenwerte den Variablen x und y zuzuordnen. Zur Vereinfachung der Codierung verwenden wir in den Programmen als Divisionszeichen nur den schrägen Bruchstrich. Als Multiplikationszeichen wird der Deutlichkeit halber das Zeichen ,,×" eingeführt. Es muß bei jeder Multiplikation gesetzt werden. So entsteht:

$$x = (5 \times 5 - 4 \times 3) / (5 \times 2 - 3 \times 3),$$
$$y = (2 \times 4 - 3 \times 5) / (5 \times 2 - 3 \times 3).$$

Dieses Programm liefert zwar die richtige Lösung, aber mit unnötigem Aufwand. Wir dürfen nicht vergessen, daß die Maschine jede Anweisung wörtlich nimmt und deshalb den Ausdruck

$$5 \times 2 - 3 \times 3$$

zweimal berechnet.

Wir ändern deshalb in folgender Weise ab:

$$N = 5 \times 2 - 3 \times 3,$$
$$x = (5 \times 5 - 4 \times 3)/N,$$
$$y = (2 \times 4 - 3 \times 5)/N.$$

Das ist ein spezielles Programm für die Lösung eines bestimmten Gleichungssystems. Ein allgemein gültiges Programm erhalten wir erst, wenn wir beliebige Koeffizienten zulassen:

$$a_1 x + b_1 y = c_1,$$
$$a_2 x + b_2 y = c_2.$$

[3]) *Anm. der Redaktion:* Aus technischen Gründen mußten alle Anhänge zu dieser Arbeit an den Schluß des dritten Teils gesetzt werden. Teil 2 erscheint im nächsten, Teil 3 im übernächsten Heft. Der Leser wird freundlich um Verständnis für diese Anordnung gebeten.

Das entsprechende Programm würde lauten:

$$d = a_1 \times b_2 - a_2 \times b_1,$$

$$x = (c_1 \times b_2 - c_2 \times b_1)/d,$$

$$y = (a_1 \times c_2 - a_2 \times c_1)/d.$$

Das ist aber nicht in Allgemeinheit richtig. Wir müssen Vorsorge treffen für den Fall, daß d bei den vorgegebenen Werten für a_1, a_2, b_1, b_2 verschwindet.

$d = a_1 \times b_2 - a_2 \times b_1;$

wenn $d \neq 0$,

dann $x = (c_1 \times b_2 - c_2 \times b_1)/d;$

sonst Fortsetzung der Rechnung
bei Sonderfallbehandlung.

Hier haben wir bereits einen über das Rechnen hinausgehenden wesentlichen Programmteil, eine Bedingung (wenn $d \neq 0$), von der der weitere Fortgang der Rechnung abhängt, und Angaben darüber, was in Abhängigkeit von dieser Bedingung weiterhin zu tun ist (dann . . . sonst . . . .). Man beachte auch, daß in der Bedingung das Gleichheitszeichen eine andere Bedeutung hat als sonst im Programm.

Beispiel 2:

Die Quadratwurzel aus einer positiven Zahl a,

$$x = \sqrt{a} \qquad a > 0$$

kann nach Newton durch folgende iterierte Mittelwertsbildung berechnet werden

$$x_{n+1} = \frac{1}{2} \cdot \left(x_n + \frac{a}{x_n}\right) \qquad n = 1, 2 \ldots \qquad (2)$$

Als Anfangswert x_1 kann eine beliebige positive Zahl genommen werden.

Die Rechenvorschrift ist in jedem Iterationsschritt die gleiche. Es liegt sehr nahe, sie nur einmal niederzuschreiben. Das Resultat eines jeden Schrittes ist als Ausgangswert für den nächsten Schritt einzusetzen. Es ergibt sich folgende Arbeitsvorschrift:

$y = x_1;$

2: $x = (y + a/y)/2;$

$y = x;$

Fortsetzung der Rechnung bei 2;

Dabei wird zwar die Formel richtig ausgewertet, aber wir kommen nie zu einem Ende. Wir müssen also noch die Fortsetzungsangabe an eine Bedingung knüpfen, etwa, daß aufgehört werden soll, wenn zwei aufeinanderfolgende Werte auf 10 Stellen übereinstimmen.

$x = x_1;$

2: $y = x;$

$x = (y + a/y)/2;$

wenn abs $(x - y) > x \times 10^{-10}$
dann Fortsetzung der Rechnung bei 2,

sonst Ende der Rechnung.

Hier tritt die Bedingung, die wir bereits in Beispiel 1 kennengelernt haben, in Zusammenhang mit einer Fortsetzungsangabe auf, die eine Wiederholung eines Programmstückes bewirkt. Dadurch erst wird es möglich, den Ablauf der Rechnung auch ohne Kenntnis der Werte von a und x_1, von denen ja die Anzahl der erforderlichen Wiederholungen abhängt, vollständig zu beschreiben.

I. Formelsprache ALGOL — Elementarer Teil

Die Formelsprache ALGOL (*algo*rithmic *l*anguage) gibt dem Maschinenbenutzer die Möglichkeit, sich bei der Formulierung der Programme der vertrauten Schreibweise arithmetischer Formeln zu bedienen. Für die darüber hinausgehenden Programmbestandteile werden leichtverständliche Wortsymbole benutzt.

Der zunächst folgende Teil umfaßt die elementaren Bestandteile von ALGOL. Er soll den normalen Benutzer so weit mit ALGOL vertraut machen, daß er für die an ihn herantretenden Rechenaufgaben selbständig arbeitsfähige Programme herstellen kann.

Die Untergliederung in 6 Abschnitte ist so gewählt, daß einerseits der systematische Aufbau der Formelsprache erkennbar bleibt und andererseits der Leser möglichst früh an abgeschlossene Programme herangeführt wird. Von Abschnitt 3 an finden sich am Ende jedes Abschnittes ein oder zwei vollständige Programme als Beispiele.

1. Elemente der Sprache

Wir betrachten zunächst die in der Sprache verfügbaren Schriftzeichen und die Möglichkeiten der Zusammenstellung der Sprachelemente aus den Schriftzeichen, etwa vergleichbar der Bildung von Wörtern aus den Buchstaben in einer natürlichen Sprache.

1.1. Schriftzeichen[4])

1.1.1. Buchstaben[5])

A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q | R |
S | T | U | V | W | X | Y | Z

1.1.2. Ziffern

0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9

1.1.3. sonstige Schriftzeichen

+ | — | × | / |
. | , | : | := | ; | ₁₀ |
(|) | [|] | '

Zwischenräume und Neubeginn einer Zeile sind in ALGOL im allgemeinen bedeutungslos. Sie sollen ausgiebig benutzt werden, um die Übersichtlichkeit der Aufschreibung zu erhöhen. Über gewisse Einschränkungen gibt Anhang 1 näheren Aufschluß.

1.2. Zahlen

An dieser Stelle wird nur der in ALGOL mögliche Aufbau von Zahlen aus den Schriftzeichen behandelt. Über die Zahlbereiche der innerhalb der ALCOR-Gruppe verwendeten Rechenanlagen gibt Anhang 3 Aufschluß.

Die allgemeine Form der Zahldarstellung ist die einer mit Vorzeichen und Skalenfaktor zur Basis 10 versehenen Dezimalzahl.

Beispiel:

+3.7164981$_{10}$—4

Neben dieser vollständigen Form sind noch eine Reihe abgekürzter Formen der Zahlendarstellung möglich. Im Einzelfall können die für die Darstellung einer bestimmten Zahl unwesentlichen Teile weggelassen werden.

Beispiele:

77 | —317.092 | —.126$_{10}$+04 | —551 |
.5384 | +04.719$_{10}$2 | —$_{10}$30 |
+0.710 | 9.123$_{10}$+1 | $_{10}$—7 |
0 | 2$_{10}$—6 | +$_{10}$—3

In den Eingabedaten (die nicht Bestandteile des Programms sind) dürfen Zahlen in jeder der oben aufgeführten Formen vorkommen. Resultatwerte werden in der Regel in der vollständigen Form ausgegeben.

---

[4]) In allen Listen von ALGOL-Zeichen werden wir als Trennzeichen zwischen je zwei Zeichen statt des sonst in Listen üblichen Kommas einen senkrechten Strich | verwenden, da das Komma selbst zu den ALGOL-Zeichen gehört.
[5]) Große und kleine Buchstaben werden nicht unterschieden.

1.3. Namen

Namen entstehen durch Aneinanderreihung von Ziffern und Buchstaben, wobei das erste Zeichen ein Buchstabe ist.

Beispiele:

A 12 | ZET | M1A7

Zeichenfolgen, die mit einer Ziffer beginnen und Buchstaben enthalten, sind als Namen nicht zulässig.

Die Anzahl der Zeichen innerhalb eines Namens ist nicht begrenzt. Unterscheidende Bedeutung für ALCOR-Übersetzer haben jedoch nur die ersten 6 Zeichen. Außerdem können einige Buchstabenfolgen, die mit einer besonderen, stets gleichbleibenden Bedeutung belegt sind, nicht als Namen verwendet werden. Dazu gehören:

ABS | ARCTAN | CHOICE | COS | ENTIER | EXP | LN | MANT | NORMAL | PRINT | RANDOM | READ | SIGN | SIN | SQRT

1.4. Wortsymbole

Die mit Rücksicht auf die Codierung klein gehaltene Menge von „sonstigen Zeichen" (vgl. 1.1.3.) wird durch Wortsymbole ergänzt, die der englischen Sprache entnommen sind. Kennzeichnend für Wortsymbole ist die Einschließung durch Apostroph.

Im elementaren Teil der Formelsprache ALGOL treten folgende Wortsymbole auf:

'ARRAY' | 'BEGIN' | 'COMMENT' | 'DO' | 'ELSE' | 'END' |
'EQUAL' | 'FOR' | 'GO TO' | 'GREATER' | 'IF' | 'INTEGER' |
'LESS' | 'NOT EQUAL' | 'NOT GREATER' | 'NOT LESS' |
'REAL' | 'STEP' | 'THEN' | 'UNTIL'

2. Arithmetische Ausdrücke

Die herkömmlichen arithmetischen Formeln sind aus festen Zahlenwerten (Konstanten) und Bezeichnungen für veränderliche Zahlenwerte (Variable) unter Verwendung von Operationszeichen und Klammern aufgebaut. Die Formel gibt eine Rechenvorschrift, die ausgeführt werden kann, wenn jeder in der Formel auftretenden Variablen ein Zahlenwert zugeordnet ist. Wir betrachten in diesem Abschnitt den Aufbau der in arithmetischen Formeln vorkommenden „Ausdrücke", beginnend mit der einfachsten Form des Zahlenausdruckes. Diese Form werden wir dann schrittweise durch Hinzunahme neuer Bestandteile erweitern.

2.1. Zahlausdrücke

Bestandteile einfacher Zahlausdrücke sind vorzeichenlose Zahlen, runde Klammern und die Operationszeichen:

+ | — | × | /

Klammern haben die in der Arithmetik übliche Bedeutung. Zusätzlich ist verabredet, daß Nenner von Brüchen stets einzuklammern sind, es sei denn, der Nenner bestehe nur aus einer einzigen nichtnegativen Zahl. Selbstverständlich darf der Nenner nicht die Zahl Null sein[6]).

Beispiele:

$3.14159 \mid -1.2 \mid (3.47_{10}-4 + 9.01_{10}+1)/4 \mid$

$9 \times 8 \times 7/(1 \times 2 \times 3) \mid (9 + 2.7)/(-3) \mid$

$(((1.5 \times 3 - 4) \times 3 + 0.19_{10}1) \times 3 - 2.6_{10}3) \times 3 \mid$

$10 + 1.4/(1 + 0.9/(7 - 0.4/3))$

2.2. Einfache Variable

Zur Bezeichnung der Variablen werden Namen verwendet. Die Variablen können „einfach" oder „indiziert" sein. Bei indizierten Variablen schließt sich an den Namen noch die in eckige Klammern gesetzte Indexliste an. Zunächst betrachten wir nur einfache Variable.

[6]) Über maschineninterne Zahldarstellung und Varianten der arithmetischen Grundoperationen in den einzelnen, zur ALCOR-Gruppe gehörigen Rechenanlagen enthält Anhang 3 nähere Einzelheiten.

Einfache Variable können in einem Ausdruck nur verwendet werden, wenn eine Vereinbarung darüber, ob die Zahlenwerte der Variablen vom Typ „ganzzahlig" oder vom Typ „reell" sein sollen, an der Spitze des Programms steht und erst dann, wenn eine erstmalige Zuweisung eines Zahlenwertes (siehe 2.2.2.) vorausgegangen ist. Bei indizierten Variablen ist noch eine weitere Vereinbarung erforderlich (siehe 4.2.1.).

2.2.1. Typenvereinbarung

Die Typenvereinbarung muß am Anfang eines Programms für alle im Programm auftretenden Variablen getroffen werden. Sie besteht aus einer einfachen Auflistung der Variablen-Namen hinter den Wortsymbolen 'INTEGER' oder 'REAL'.

Beispiel:

'INTEGER' N, M, I, GRAD;
'REAL' A, ZET 1, LAMBDA, B5;

Die einzelnen Namen sind durch das Listentrennzeichen „ , " voneinander zu trennen. Hinter den letzten Namen ist das Schlußzeichen „ ; " zu setzen.

Der einem Variablennamen zuzuordnende Zahlenwert gehört entweder zu den Eingabedaten, oder er fällt als Zwischenresultat bei der Durchführung des Programms an.

2.2.2. Wertzuweisung durch Aufruf von Daten

Gehört der Zahlenwert zu den Eingabedaten, die während der Rechnung im Eingabeteil der Rechenanlage bereitliegen, so braucht er von dort nur aufgerufen zu werden. Das geschieht durch eine Eingabe-Anweisung.
Sie hat die Form

READ (V);

wobei an Stelle von V der Variablenname steht.

Auf die Anweisung hin wird vom Lochstreifen (bzw. von den Lochkarten) der Eingabedaten die nächste Zahl gelesen und der Variablen, deren Namen aufgeführt ist, als Wert zugeordnet.

Mehrere unmittelbar aufeinanderfolgende Eingabeanweisungen können zu einer einzigen zusammengefaßt werden. An Stelle der einen Variablen tritt dabei eine entsprechende Variablenliste, wobei die einzelnen Variablennamen durch Kommata getrennt sind.

Form:

READ ($V, \dots V$);

Im Zahlsatz der Eingabedaten müssen die Zahlen so aufeinanderfolgen, wie sie beim tatsächlichen Ablauf des Programms aufgerufen werden. Hinter jeder Zahl muß ein Komma oder ein Semikolon stehen. Weitere Hinweise bezüglich der Vorbereitung der Zahlstreifen (bzw. Kartenstapel) finden sich in Anhang 1.

Beispiel:

READ (A2);

dazu gehört im Zahlstreifen z. B. $1.279_{10}-7$;

READ (B10, B11, B12, B15);

dazu gehört im Zahlstreifen z. B.

$3.4_{10}-1$, 7.149, $825_{10}1$; 9;

2.3. Wertzuweisung durch einen Ausdruck

Wird der Wert einer Variablen dagegen erst beim Ablauf des Programms errechnet, dann erfolgt die Wertzuweisung durch das Zuordnungszeichen „: = ". Links vom Zuordnungszeichen steht der Variablenname, rechts ein Ausdruck.

Form: $V := E;$

Die einfachste Form eines Ausdruckes, den Zahlausdruck, haben wir bereits in 2.1. kennengelernt. Ist die Wertzuweisung an eine bestimmte Variable erfolgt, dann kann in weiteren Ausdrücken der Name dieser Variablen an Stelle des Wertes gesetzt werden. Auch solche Ausdrücke werden genau in der in der Arithmetik üblichen Weise gebildet. Beispiele:

```
A4 := 3×A1 — 4×A2 + 5×A3;
FLAECHE := R×R×3.14159;
Q := (1 + 0.01×P);
```

Einer Variablen, für die der Typ ganzzahlig vereinbart wurde, können nur ganzzahlige Werte zugewiesen werden. Es ist also in diesem Fall nötig, daß der den Wert definierende Ausdruck mathematisch eine ganze Zahl ergibt.

Beispiel:

```
'INTEGER' I, J;
I := 3;
J := I×(I + 1)/2;
```

Bei einer Division ist aber nicht nur in ganzzahliger Rechnung Vorsicht geboten. Nimmt der Divisor den Zahlenwert Null an, so wird stets die Rechnung abgebrochen, und es erfolgt eine Meldung, etwa

„Division durch Null"

2.3.1. Besondere Bedeutung des Zuordnungszeichens

Es wird hier nochmals ausdrücklich auf den Unterschied zwischen der Wertzuweisung und einer Gleichung hingewiesen, der durch die besondere Wahl des Zuordnungszeichens betont wird. Der definierende Ausdruck und der links stehende Variablenname sind voneinander unabhängig. Man kann jederzeit den Zahlenwert der Variablen durch eine neue Wertzuweisung abändern. Eine Variable, der ein neuer Wert zugewiesen wird, kann deshalb (mit dem alten Wert) auch im Ausdruck, d. h. rechts vom Zuordnungszeichen auftreten.

Beispiel:

```
i := i + 1;
```

Zur Erläuterung dieses Sachverhaltes, der erfahrungsgemäß dem Anfänger Schwierigkeiten bereitet, mögen die folgenden Beispiele dienen:

1. Berechnung einer Summe

$$s = \sum_{i-1}^{i=3} a_i$$

durch wiederholte Wertzuweisung:

```
S := 0;
S := S + A1;
S := S + A2;
S := S + A3;
```

Nach der letzten Wertzuweisung hat S den Zahlenwert der Summe.

2. Berechnung eines Polynomwertes durch wiederholte Wertzuweisung:

$$p(x_1) = a_3x_1^3 + a_2x_1^2 + a_1x_1 + a_0$$
$$= ((a_3x_1 + a_2) \cdot x_1 + a_1) \cdot x_1 + a_0$$

```
P := A3;
P := P×X1 + A2;
P := P×X1 + A1;
P := P×X1 + A0;
```

Nach der letzten Wertzuweisung hat P den Zahlenwert $p(x_1)$.

2.3.2. Mehrfache Wertzuweisung

Die Wertzuweisung durch einen Ausdruck kann auch auf mehrere Variable ausgedehnt werden. Man braucht dazu nur links vom ersten Variablennamen abwechselnd weitere Zuordnungszeichen und Variablennamen anzuordnen. Form:

$V := V := V := E;$

Die mehrfache Wertzuweisung ist allerdings nur dann möglich, wenn an der Spitze des Programms bezüglich aller in einer Zuweisung vorkommenden Variablen derselbe Typ vereinbart wurde.

2.4. Standardfunktionen

Vollständige Rechenvorschriften für einige Standardfunktionen sind bereits in der Sprache eingebaut und können durch feste Namen aufgerufen werden. Hinter dem Namen wird in runden Klammern das Argument als beliebiger Ausdruck angegeben, für das die Rechenvorschrift durchzuführen ist. Ebenso können Standardfunktionen selbst Bestandteile von Ausdrücken sein.

Solche Standardfunktionen sind:

SQRT (E)	Quadratwurzel von E (nicht definiert für $E < 0$)
SIN (E)	sinus von E (Argument im natürlichen Bogenmaß)
COS (E)	cosinus von E (Argument im natürlichen Bogenmaß)
ARCTAN (E)	arcustangens von E (Hauptwert zwischen $-\pi/2$ und $+\pi/2$)
LN (E)	Logarithmus naturalis von E (nicht definiert für $E \leqq 0$)
EXP (E)	Exponentialfunktion von E
ABS (E)	Absoluter Betrag von E.

Die Werte dieser Funktionen sind vom Typ reell[7]. Liegt bei den Funktionen **SQRT** und **LN** der Argumentwert außerhalb des Definitionsgebietes, dann wird die Rechnung abgebrochen, und es erfolgt eine Meldung, etwa

„**SQRT** nicht definiert"

Die Standardfunktionen **SIGN** und **ENTIER** haben Werte vom Typ ganzzahlig. Sie sind in folgender Weise festgelegt:

SIGN (E)	Vorzeichen von E ($+1$ wenn $E > 0$ -1 wenn $E < 0$ 0 wenn $E = 0$)
ENTIER (E)	Entierfunktion von E (größte ganze Zahl, die kleiner oder gleich E ist)

(Beachte dabei:
ENTIER (3.14) = 3,
ENTIER (—7.5) = —8
ENTIER (2) = 2,
ENTIER (—5) = —5)

[7]) Genauigkeitsangaben über die mittels Standardfunktionen errechneten Zahlenwerte enthält Anhang 3.

Beispiele:

```
B + SIGN(B) × SQRT(B × B − 4 × A × C)
SQRT(SQRT(A × A × A))
SIN(ALPHA × PI/180)
```

2.5. Ausgabe von Resultaten

Sobald für eine Variable eine Wertzuweisung erfolgt ist, kann der Wert jederzeit zur Ausgabe „abgerufen" werden. Durch

PRINT (V);

(Gegenstück zur Eingabeanweisung **READ** (V)) erhält die Maschine die Anweisung, den Zahlenwert auf das Ausgabemedium auszugeben, mittels Blattschreiber zu drucken oder mittels Streifenlocher zu stanzen.

Mehrere unmittelbar aufeinanderfolgende Ausgabeanweisungen können wiederum zu einer Anweisung zusammengefaßt werden.

Form:

PRINT (V, . . V);

Zahlstreifen, die durch Ausgabeanweisungen entstehen, können durch Eingabeanweisungen wieder eingelesen werden.

(wird fortgesetzt)

Analogrechenschaltungen für die Entwicklungskoeffizienten nach Orthogonalfunktionen

Determination of the coefficients of expansions into orthogonal functions by analog computers

von R. HERSCHEL
Forschungsinstitut der
Telefunken GmbH, Ulm (Donau)

Elektron. Rechenanl. 3 (1961), H. 5, S. 212—217
Manuskripteingang: 15. 7. 1961

Es wird das Problem behandelt, mit Hilfe eines Analogrechners die Entwicklungskoeffizienten einer Funktion $f(t)$ nach irgendeinem System von Orthogonalfunktionen zu bestimmen. Dazu werden einige Verfahren beschrieben, die an speziellen Beispielen erläutert werden.

An analog computer is used to find the coefficients of expansions for a function $f(t)$ in an arbitrary system of orthogonal functions. Several methods are given and demonstrated by special examples.

1. Einleitung

Das Problem, eine Funktion $f(t)$ durch andere Funktionen zu approximieren, kann unter verschiedenartigen Gesichtspunkten angegriffen werden. Für die Praxis von besonderer Bedeutung und sehr häufig ist die Approximation im Mittel. Die Funktion $f(t)$ soll durch Summen der Form

$$f(t) \sim \sum_{i=1}^{n} \alpha_i \varphi_i(t) \tag{1}$$

so angenähert werden, daß in einem gewissen Intervall G das mittlere Fehlerquadrat

$$\int_G [f(t) - \sum_{i=1}^{n} \alpha_i \varphi_i(t)]^2 \, dt \tag{2}$$

zu einem Minimum wird. Bekanntlich ist dies dann der Fall, wenn die $\varphi_i(t)$, $i = 1, 2, \ldots, n$, ein Orthogonalsystem bilden, d. h. der Bedingung

$$\int_G \varphi_i(t) \varphi_k(t) \, dt = \begin{cases} C \neq 0 & \text{für } i = k \\ 0 & \text{für } i \neq k \end{cases} \tag{3}$$

genügen und die Entwicklungskoeffizienten von (1) aus

$$\alpha_i = \frac{1}{C} \int_G f(t) \varphi_i(t) \, dt \tag{4}$$

bestimmt werden. Wenn in (3) $C = 1$ ist, dann nennt man das Orthogonalsystem der φ_i normiert oder auch orthonormal. Damit die Integrale existieren, müssen $f(t)$ und die $\varphi_i(t)$ gewissen Bedingungen genügen. Wir verweisen dazu auf [1], [2].

Ein wesentlicher Vorteil der Approximation durch Orthogonalfunktionen liegt in der Endgültigkeit der Entwicklungskoeffizienten a_i. Ist nämlich $f(t)$ durch n Funktionen φ_i angenähert worden, und nimmt man nun eine Funktion φ_{n+1} hinzu, so bleiben die Koeffizienten $a_1, \ldots, a_n$ unverändert, d. h. man kann die Approximation verbessern, ohne die bisher gewonnenen Ergebnisse ändern zu müssen.

2. Benutzung des Analogrechners

In dieser Arbeit interessiert uns das Problem, wie man die Entwicklungskoeffizienten a_i mit Hilfe eines Analogrechners gewinnen kann. Da es sich dabei immer nur um endliche Summen (1) handeln kann, wollen wir hier Fragen der Konvergenz, der Vollständigkeit von Orthogonalsystemen usw. außer acht lassen. Diese Dinge sind für die verschiedensten Orthogonalsysteme aus der mathematischen Literatur wohlbekannt (vgl. z. B. [1], [2]).

Im Hinblick auf technische Anwendungen und auch aus mathematischen Gründen (damit im Falle eines unend-

lichen Intervalles G das Integral (2) wirklich existiert) ist es zweckmäßig, die Differenz unter dem Integral (2) mit einer geeigneten Gewichtsfunktion $w(t)$ zu versehen:

$$\int_G \left[f(t) - \sum_{i=1}^{n} \alpha_i \varphi_i(t) \right]^2 w(t)\, dt\,. \tag{5}$$

Man hat damit die Möglichkeit, die Differenz zwischen $f(t)$ und der Summe $\Sigma a_i \varphi_i$ an verschiedenen Zeitpunkten verschieden zu bewerten. So kann man z. B. die Fehler bei kleinen Zeiten stärker berücksichtigen als die nach langer Zeit, wenn man $w(t)$ als eine positive und monoton abnehmende Funktion wählt. Die Beziehungen (3) und (4) lauten dann

$$\int_G \varphi_i \varphi_k w\, dt = \begin{cases} C \neq 0 & \text{für } i = k \\ 0 & \text{für } i \neq k \end{cases} \tag{6}$$

bzw.

$$\alpha_i = \frac{1}{C} \int_G f \varphi_i w\, dt. \tag{7}$$

Je nach der Problemstellung können die φ_i einem verschiedenartigen Orthogonalsystem angehören. Prinzipiell kann man n linear unabhängige Funktionen ψ_i orthogonalisieren, d. h. aus ihnen n Funktionen φ_i bilden, die den Orthogonalitätsbedingungen (3) bzw. mit einer Gewichtsfunktion $w(t)$ den Bedingungen (6) genügen. Das wohl bekannteste (normierte) Orthogonalsystem für das Intervall $0 \leq t \leq 2\pi$ bilden die trigonometrischen Funktionen

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}}, \frac{\cos t}{\sqrt{\pi}}, \frac{\sin t}{\sqrt{\pi}}, \ldots, \frac{\cos kt}{\sqrt{\pi}}, \frac{\sin kt}{\sqrt{\pi}}, \ldots,$$

deren Reihe (1) Fourierreihe heißt.

Nimmt man für die Funktionen ψ_i die linear unabhängigen Potenzen $1, t, t^2, t^3, \ldots, t^k, \ldots$, so ergeben sich daraus durch Orthogonalisierung

für das Intervall $-1 \leq t \leq 1$ und die Gewichtsfunktion $w = 1$ die Legendreschen Polynome $P_k(t)$ (Kugelfunktionen),

für das Intervall $0 \leq t \leq \infty$ und die Gewichtsfunktion $w = e^{-t}$ die Laguerreschen Polynome $L_k(t)$,

für das Intervall $-\infty \leq t \leq +\infty$ und die Gewichtsfunktion $w = e^{-t^2}$ die Hermiteschen Polynome $H_k(t)$,

für das Intervall $-1 \leq t \leq +1$ und die Gewichtsfunktion $w = 1/\sqrt{1-t^2}$ die Tschebyscheffschen Polynome $T_k(t)$, um nur einige wichtige zu nennen. Da sie alle aus den Potenzen von t durch Orthogonalisierung gewonnen werden, nennt man sie Orthogonalpolynome.

Für gewisse Probleme der Regelungstechnik ist es sinnvoll, aus den Funktionen $\psi_i = e^{-\beta_i t}$ mit einer gewissen geeigneten Gewichtsfunktion $w(t)$ ein Orthogonalsystem zu bilden, da die Ausgangsgrößen linearer Systeme sich als eine Summe solcher Funktionen darstellen lassen. Weiter bilden die Eigenfunktionen selbstadjungierter gewöhnlicher Differentialgleichungen immer ein Orthogonalsystem [1], und auch die oben genannten Orthogonalpolynome kann man als Eigenfunktionen solcher Differentialgleichungen gewinnen.

Sollen die Entwicklungskoeffizienten a_i einer Entwicklung nach Orthogonalfunktionen (1) mit Hilfe eines Analogrechners bestimmt werden, so handelt es sich darum, eine Rechenschaltung zu entwerfen, deren Eingangsgröße $f(t)$ ist, und an der nach der Rechenzeit T die Entwicklungskoeffizienten a_i nach dem jeweiligen Orthogonalsystem abgelesen werden können. Man wird zur Bildung dieser Rechenschaltung die Beziehung (7) benutzen, die ja die gesuchten Entwicklungskoeffizienten unmittelbar liefert.

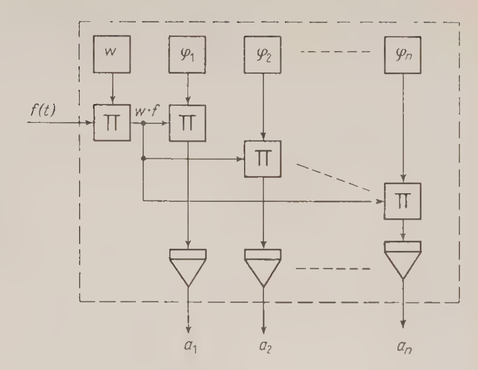


Bild 1. Schaltung für die getrennte Erzeugung der Orthogonalfunktionen.

Zur Realisierung der Rechenschaltung kann man nun die folgenden Methoden verwenden.

Fall 1

Man bildet direkt w und alle φ_i am Analogrechner, multipliziert w mit f, dieses Produkt jeweils mit φ_i und integriert über dieses Produkt (Bild 1). Von diesem Verfahren wird man insbesondere dann Gebrauch machen, wenn die φ_i nicht unmittelbar die Eigenfunktionen einer Differentialgleichung sind.

Fall 2

Sind die φ_i die Eigenfunktionen einer selbstadjungierten Differentialgleichung

$$L[\varphi] + \lambda w \varphi = 0 \tag{8}$$

mit entsprechenden Randbedingungen, wobei $L[\varphi]$ ein linearer Differentialoperator zweiter Ordnung ist, so wird man nach Bild 2 die Rechenschaltung für diese Differentialgleichung machen. Bei repetierendem Rechnen kann man dann in den Rechenpausen λ so ändern, daß nacheinander die gewünschten Eigenfunktionen φ_i erzeugt werden. Die Entwicklungskoeffizienten a_i ergeben sich dann freilich nacheinander und $f(t)$ ist periodisch zu wiederholen.

Fall 3

Für die Orthogonalfunktionen im Falle 2 gibt es zumeist sehr einfache Rekursionsformeln der Form

$$\varphi_{k+1} = h(\varphi_k, \varphi_{k-1})\,. \tag{9}$$

In diesem Falle braucht man also nur zwei Rechenschaltungen für die beiden Werte λ_1 und λ_2 von Bild 2 und kann dann daraus die $\varphi_3, \varphi_4, \ldots$ aufbauen. Als Vorteil ergeben sich dann die Entwicklungskoeffizienten alle nach einem Rechengang. Von größerer Bedeutung von unserem Gesichtspunkt aus sind die manchmal geltenden Rekursionsformeln etwa der Art

$$\varphi_{k+1} = g(\varphi_k, \dot{\varphi}_k)\,. \tag{10}$$

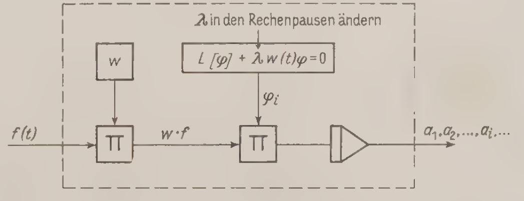


Bild 2. Schaltung für die sukzessive Bestimmung mit Hilfe der Differentialgleichung.

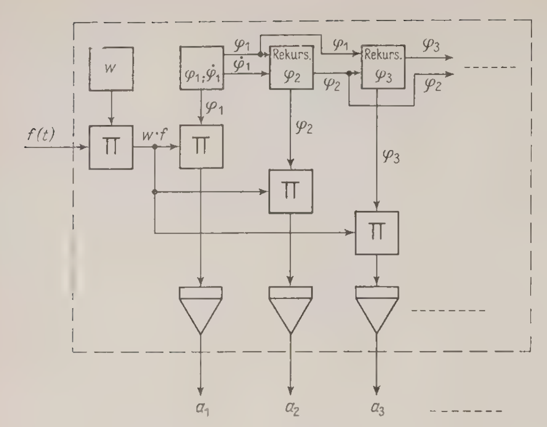


Bild 3. Schaltung unter Benutzung der Rekursionsformeln.

Da in der Rechenschaltung von φ_1 auch notwendig die Größe $\dot{\varphi}_1$ vorkommt, so genügt also die Lösung von Differentialgleichung (8) für $\lambda = \lambda_1$ allein, um alle höheren Orthogonalfunktionen zu bilden. Wieder ergeben sich alle a_i nach einem Rechengang.

Da man nach Erzeugung von φ_2 zur Bildung von φ_3 die Ableitung $\dot{\varphi}_2$ braucht, wird man zwar φ_2 nach (10) bilden, dann aber unter Vermeidung der Differentiation die folgenden Orthogonalfunktionen nach (9), nach dem man φ_1 und φ_2 hat (Bild 3). In den Rekursionsformeln (10) kommen die Indizes auch in anderen Kombinationen vor. Man wird dann jeweils die Rekursionsformeln (9) und (10) in geeigneter Weise miteinander kombinieren.

Fall 4

Man kann das Integral (7) aber auch als Faltungsintegral auffassen [3]. Wenn ein lineares Übertragungsglied die Impulsübergangsfunktion $\varphi_i w$ hat, dann kann man zwischen der Eingangsgröße $f(t)$ und der Ausgangsgröße $a_i(t)$ einen Zusammenhang der Art (7) herstellen. Wenn (Bild 4) das Übertragungsglied die Impulsübergangsfunktion $g_i(t)$ hat, dann ist nämlich

$$a_i(t) = \int_0^t f(t-\tau)\, g_i(\tau)\, \mathrm{d}\tau\,. \tag{11}$$

Damit $f(t)$ nicht erst gespeichert zu werden braucht, um dann als Eingangsgröße rückwärts abzulaufen, empfiehlt es sich, das Faltungsintegral (11) in der Form

$$a_i(t) = \int_0^t f(\tau)\, g_i(t-\tau)\, \mathrm{d}\tau \tag{12}$$

zu schreiben. Nach Ablauf der Rechenzeit T ist dann also

$$a_i(T) = \int_0^T f(\tau)\, g\,(T-\tau)\, \mathrm{d}t\,. \tag{13}$$

Die Entwicklungskoeffizienten a_i ergeben sich, wenn man nach (7)

$$g_i(T-t) = \psi_i(t)\, w\,(t)$$

bzw.

$$g_i(\tau) = \psi_i(T-\tau)\, w\,(T-t) \tag{14}$$

setzt. Bei diesem Verfahren wird man dann mit einer Analogrechenschaltung einfach zum Ziel kommen, wenn zu den Funktionen $\varphi_i w$, also zu g_i, „vernünftige" Laplacetransformierte gehören. Vernünftig heißt dabei z. B., daß die Übertragungsfunktion $G_i(s)$ (Bild 4) eine rational gebrochene Funktion ist. Diese läßt sich dann durch lineare Rechenelemente einfach nachbilden. Besonders einfach liegt der Fall dann, wenn eine Darstellung der Form

$$G_i(s) = \prod_{k\;1}^{i} T_k(s) \tag{15}$$

möglich ist, wobei die $T_k(s)$ gebrochene rationale Funktionen sind. Dazu gehört das Blockschaltbild von Bild 5. Es handelt sich einfach um die Hintereinanderschaltung linearer Übertragungsglieder, deren Zwischengrößen unmittelbar die Entwicklungskoeffizienten a_i liefern.

Bild 4. Entwicklungskoeffizienten als Übergangsfunktion.	f(t) → [$g_i(t)$ / $G_i(s)$] → $a_i(t)$

Aber auch, wenn die einfache Darstellung (15) nicht möglich ist, sich $G_i(s)$ als irgendeine andere einfache Kombination der vorhergehenden Übertragungsglieder bilden läßt, kann man mitunter mit einer Rechenschaltung nach diesem Prinzip zum Ziel kommen.

Bei dieser Art von Spektralanalysator für spezielle Orthogonalfunktionen hat man allerdings die endliche Rechenzeit T zu berücksichtigen. Wenn das Integrationsintervall G bei (7) endlich ist, dann ergeben sich die richtigen Entwicklungskoeffizienten. Ist dieses Intervall aber unendlich, meist $0 \leqq t \leqq \infty$, dann erhält man die Koeffizienten für die Funktion

$$F(t) = \begin{cases} f(t) \text{ für } 0 \leqq t \leqq T \\ 0 \quad \text{für } \; T < t\,. \end{cases} \tag{16}$$

Das ist mitunter insofern keine Einschränkung, als man es bei technischen Problemen oft mit abklingenden Funktionen $f(t)$ zu tun hat, die nach endlich langer Zeit praktisch zu Null geworden sind.

Andererseits kann man natürlich ebensogut die Gewichtsfunktion $w(t)$ entsprechend definieren, indem man sie für $T < t$ zu Null annimmt, z. B.

$$w\,(t) = \begin{cases} 1 \text{ für } 0 \leqq t \leqq T \\ 0 \text{ für } T < t\,. \end{cases}$$

Leider führt diese Annahme zumeist auf umständliche Ausdrücke für $G_i(s)$.

Wir wollen uns nun einigen Beispielen zu diesen allgemeinen Ausführungen zuwenden.

3. Beispiele

3.1 Bei selbsteinstellenden Systemen kann es von Interesse sein, die dynamischen Eigenschaften eines Übertragungsgliedes zu ermitteln, die sich unkontrolliert ändern. Das gewünschte Verhalten bestehe darin, daß z. B. die Regelstrecke die Übergangsfunktion

$$f = \sum_{i=1}^{n} b_i\, \mathrm{e}^{-\beta_i t} \quad, \beta_i > 0 \tag{17}$$

hat. Die Konstanz der Eigenschaften kann man dadurch nachprüfen, daß man die Elementarfunktionen $f_i = \mathrm{e}^{-\beta_i t}$,

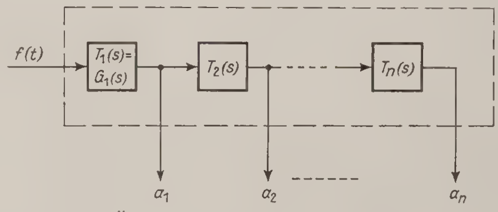


Bild 5. Übertragungsglieder zur Bestimmung der a_i.

$i = 1, \ldots, n$, orthogonalisiert, d. h. ein System von Orthogonalfunktionen

$$\varphi_k = \sum_{i=1}^{k} A_{ik} f_i \tag{18}$$

bildet und dann f nach diesen Orthogonalfunktionen entwickelt. Zur Orthogonalisierung kann man die Bedingungen (3) oder (6) benutzen, aus denen sich die A_{ik} von (18) ergeben. Die Entwicklungskoeffizienten a_i der Funktion f nach den φ_k zeigen dann, ob die gewünschte Funktion (17) vorliegt. Man kann aber direkt die Laplacetransformierten $L\{\varphi_k\}$ von (18) bestimmen (s. Gleichung (32)), aus denen die A_{ik} als deren Residuen folgen [4].

Als Intervall G nehmen wir zur Berechnung der φ_k nach (3) $0 \leqq t \leqq \infty$, damit die A_{ik} einigermaßen einfach werden. Am Analogrechner wählen wir dann ein solches T, daß $f(t)$ im wesentlichen abgeklungen ist. In [5] ist für einen speziellen Fall der Fehler abgeschätzt, der sich durch die endliche Rechenzeit T ergibt. Der Approximationsfehler sei zu allen Zeiten vom gleichen Gewicht, d. h., wir setzen $w = 1$.

Es liegt hier der in 1 erwähnte Fall vor, daß sich die Orthogonalfunktionen nicht als Eigenlösung einer selbstadjungierten Differentialgleichung ergeben. Man wird also die einzelnen φ_k durch Analogrechenschaltungen erzeugen. Bild 6 zeigt die Schaltung für $n = 4$, die der allgemeinen Schaltung von Bild 1 entspricht. Wenn man dabei noch eine Gewichtsfunktion berücksichtigen will, die die Fehler zu Beginn besonders hervorhebt, so wird man zweckmäßigerweise eine Funktion $w = e^{-a t}$ nehmen. Man braucht dann bei der Rechenschaltung von Bild 1 statt β_i nur die Größe $\beta_i + a$ zu setzen.

3.2 Als Beispiel zu Verfahren 2 betrachten wir den Fall, daß von einer mit T periodischen Funktion $f(t)$ die Fourierkoeffizienten zu bestimmen seien. Die Orthogonalfunktionen sind

$$\cos \frac{2\pi k}{T} t \text{ und } \sin \frac{2\pi k}{T} t \; (k = 1, \ldots, n).$$

Die Entwicklungskoeffizienten von

$$f(t) \sim \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{n} a_k \cos \frac{2\pi k}{T} t + b_k \sin \frac{2\pi k}{T} t \tag{19}$$

bestimmen sich aus

$$a_k = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos \frac{2\pi k}{T} t,$$
$$b_k = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin \frac{2\pi k}{T} t. \tag{20}$$

Die Orthogonalfunktionen dieses Systems genügen der Differentialgleichung

$$\ddot{\varphi} + \lambda_k^2 \varphi = 0 \; ; \; \lambda_k = \frac{2\pi k}{T}. \tag{21}$$

Da zur Bildung von $\sin kt$ und $\cos kt$ aus $\sin (k-1) t$ und $\cos (k-1) t$ Multiplikationen notwendig sind, wird man eine Schaltung nach Bild 2 benutzen, die die Entwicklungskoeffizienten nacheinander liefert. Die entsprechende Schaltung zeigt das Bild 7a. Das Bild 7b zeigt den Ausgang des ersten Integrators I. Im ersten Intervall $0 \leqq t \leqq T$ läuft dieser Integrator auf den Wert $1/n$, während die restlichen Integratoren in der Stellung Pause bleiben. Dann wird I festgehalten, und die übrigen bestimmen in der Stellung ,,Rechnen'' während der Zeit $T \leqq t \leqq 2T$ die Koeffizienten a_0, a_1 und b_1. Alle Integratoren bis auf I gehen in der Stellung ,,Pause'' auf die Anfangswerte zurück, während I in der Zeit $2T \leqq t \leqq 3T$ auf den Wert $2/n$ läuft. I wird dann wieder festgehalten, während des Taktes $3T \leqq t \leqq 4T$ a_2 und b_2 bestimmt usw.

Bei modernen Analogrechnern kann man diesen abwechselnden Vorgang automatisch ablaufen lassen und die Koeffizienten ausdrucken lassen.

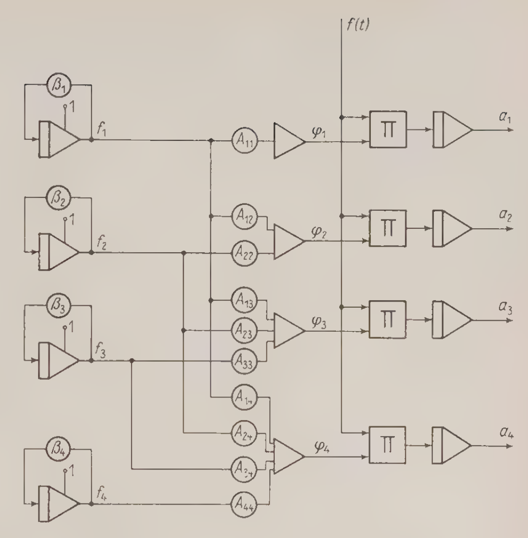


Bild 6. Schaltung für die Entwicklung nach orthogonalisierten Exponentialfunktionen.

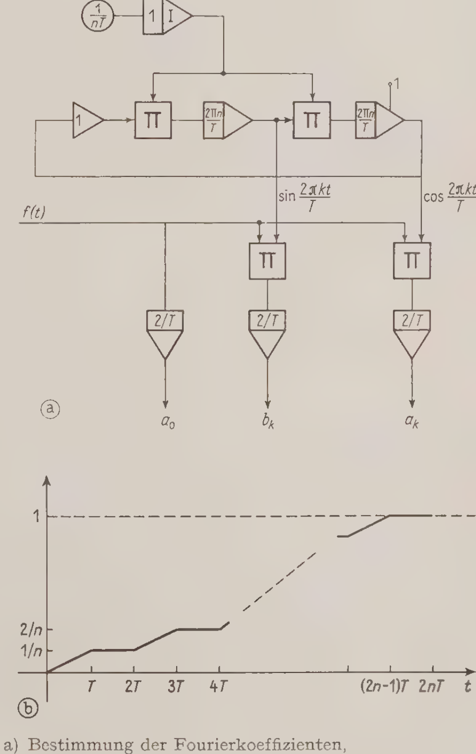


Bild 7. a) Bestimmung der Fourierkoeffizienten,
b) Ausgang des Integrators I von Bild 7a.

3.3 Die Hermiteschen Polynome $\varphi_k = H_k(t)$ sind die Lösungen der selbstadjungierten Differentialgleichung

$$\ddot{\varphi} - 2t\dot{\varphi} + 2k\varphi = 0 \;, \; k = 1,2, \; \ldots \tag{22}$$

mit den entsprechenden Anfangswerten (vgl. [1]). Sie gelten in dem Intervall $-\infty \leqq t \leqq +\infty$ und genügen mit der Gewichtsfunktion $w = \mathrm{e}^{-t^2}$ den Orthogonalitätsrelationen

$$\int_{-\infty}^{+\infty} H_i(t)\, H_k(t)\, \mathrm{e}^{-t^2}\, \mathrm{d}t = \begin{cases} 1 \text{ für } i = k \\ 0 \text{ für } i \neq k \end{cases},$$

wenn sie durch die Anfangswerte gleich auf $\sqrt{2^k k!\,\sqrt{\pi}}$ normiert sind. Wenn $f(t) = 0$ für $t < 0$ ist, dann ergeben sich die Entwicklungskoeffizienten aus

$$a_k = \int_0^\infty f(t)\, H_k(t)\, \mathrm{e}^{-t^2}\, \mathrm{d}t \,. \tag{23}$$

Wegen der Rekursionsformel

$$H_k(t) = \sqrt{2k} \int H_{k-1}(t)\, \mathrm{d}t \tag{24}$$

könnte man von der unter 3 beschriebenen Methode Gebrauch machen. Man hätte die Differentialgleichung (22) für $k = 1$ zu lösen und kann dann die anderen Orthogonalfunktionen $H_k(t)$, $k = 2, 3, \ldots$, aus der Rekursionsformel (24) erzeugen.

Da es sich hier aber um Polynome handelt, nämlich [1]

$$H_k(t) = \frac{(-1)^k}{\sqrt{2^k k!\,\sqrt{\pi}}}\, \mathrm{e}^{t^2} \frac{\mathrm{d}^k}{\mathrm{d}t^k}\, \mathrm{e}^{-t^2} \tag{25}$$

also

$$k = 0: \; H_0(t) = \pi^{-\frac{1}{4}}$$

$$k = 1: \; H_1(t) = \sqrt{2}\, \pi^{-\frac{1}{4}}\, t$$

$$k = 2: \; H_2(t) = \sqrt{2}\, \pi^{-\frac{1}{4}}\, t^2 - \tfrac{1}{2}\sqrt{2}\, \pi^{-\frac{1}{4}}$$

$$k = 3: \; H_3(t) = \frac{2}{\sqrt{3}}\, \pi^{-\frac{1}{4}}\, t^3 - \sqrt{3}\, \pi^{-\frac{1}{4}}\, t$$

kann man natürlich gleich von Anfang an allein die Rekursionsformel (24) benutzen, da man ja H_0 kennt, ohne die Differentialgleichung (22) zu lösen. Die entsprechende Rechenschaltung zeigt das Bild 8.

Die Gewichtsfunktion $w = \mathrm{e}^{-t^2}$ ergibt sich als Lösung der Differentialgleichung

$$\dot{w} + 2t\, w = 0, \; w(0) = 1 \,.$$

Man beachte bei der Schaltung, daß man wieder nur die Entwicklungskoeffizienten für die abgebrochene Funktion (16) erhält. Zu der Rekursionsformel (24) gehören noch die Anfangswerte. Diese sind

$$H_{2k}(0) = \frac{(-1)^k}{2^k\, k!} \sqrt{(2k)!}\; \pi^{-1/4} \,, \; k = 1, 2, \ldots,$$

während die ungeraden Hermiteschen Polynome den Anfangswert 0 haben. Bei der Rechenschaltung von Bild 8 seien die richtigen Vorzeichen an den Multiplikatoren berücksichtigt. Durch eine geeignete Normierung hat man noch dafür zu sorgen, daß bei einer gegebenen Rechenzeit T die einzelnen Rechenelemente nicht übersteuert werden.

3.4 Die durch

$$L_k(t) = \frac{1}{k!}\, \mathrm{e}^{t} \frac{\mathrm{d}^k}{\mathrm{d}t^k} \left(t^k\, \mathrm{e}^{-t} \right) \tag{26}$$

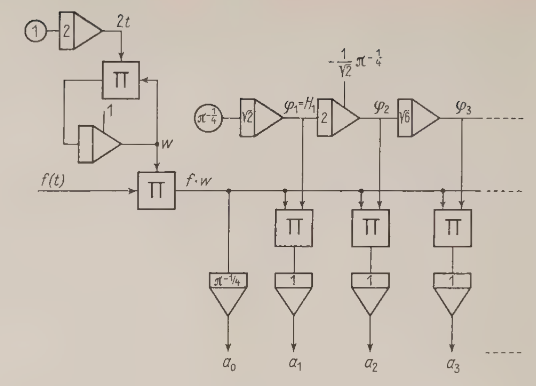


Bild 8. Entwicklung nach Hermiteschen Polynomen.

definierten Laguerreschen Polynome erfüllen in dem Intervall $0 \leqq t \leqq \infty$ und mit der Gewichtsfunktion $w = \mathrm{e}^{-t}$ die Orthogonalitätsbedingungen

$$\int_0^\infty L_i(t)\, L_k(t)\, \mathrm{e}^{-t}\, \mathrm{d}t = \begin{cases} 1 \text{ für } i = k \\ 0 \text{ für } i \neq k \end{cases}.$$

Sie können als Beispiel für das unter 4 beschriebene Verfahren dienen, da die Laplace-Transformierte von $L_k(t)\mathrm{e}^{-t}$

$$L\left\{ L_k(t)\, \mathrm{e}^{-t} \right\} = \frac{s^k}{(s+1)^{k+1}} \tag{27}$$

lautet [5]. Wenn man also nach Bild 4 und Gleichung (14) ein Übertragungsglied mit der Impulsübergangsfunktion

$$g_k(T - t) = L_k(t)\, \mathrm{e}^{-t}$$

bzw.

$$g_k(\tau) = L_k(T - \tau)\, \mathrm{e}^{-(T-\tau)} \tag{28}$$

bildet, dann ergeben sich die Entwicklungskoeffizienten

$$a_k(T) = \int_0^T f(\tau)\, L_k(\tau)\, \mathrm{e}^{-\tau}\, \mathrm{d}\tau \tag{29}$$

als Ausgangsgrößen von entsprechend (27) aufgebauten Übertragungsgliedern. Aus (26) folgt für die ersten Laguerre-Polynome

$$L_0 = 1$$

$$L_1 = 1 - t$$

$$L_2 = \frac{t^2}{2} - 2t + 1 \tag{30}$$

$$L_3 = -\tfrac{1}{6}\, t^3 + \tfrac{3}{2}\, t^2 - 3t + 1$$

Wenn man dies in (28) einsetzt, dann ergeben sich für die entsprechenden Übertragungsfunktionen $G_i(s) = L\{g_i(\tau)\}$

$$G_0(s) = \frac{\mathrm{e}^{-T}}{s-1}$$

$$G_1(s) = \frac{s}{s-1}\, G_0 - T\, G_0(s) \tag{31}$$

$$G_2(s) = \frac{s}{s-1}\, G_1 + \left(\frac{T^2}{2} - T \right) G_0(s)$$

$$G_3(s) = \frac{s}{s-1}\, G_2 + \left(-\frac{1}{6}\, T^3 + T^2 - T \right) G_0(s) \,.$$

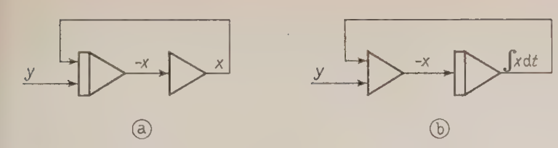


Bild 9. a) Lösung der Differentialgleichung $\dot{x} - x = y$.
b) Lösung der Differentialgleichung $\dot{x} - x = \dot{y}$.

Die Glieder $1/(s-1)$ und $s/(s-1)$ kann man als Differentialgleichungen der Form

$$\dot{x} - x = y$$

und

$$\dot{x} - x = \dot{y}$$

schreiben, zu denen die Analogrechenschaltungen von Bild 9 gehören. Aus den Gleichungen (31) kann man nun unmittelbar die Schaltung von Bild 10 aufbauen. Die Rechenschaltungen für $1/(s-1)$ und $s/(s-1)$ sind an sich instabile Schaltungen. Für zu große Rechenzeiten T kann man diese vermeiden, wenn man das Faltungsintegral in der Form (11) nimmt. Allerdings muß man in diesem Fall $f(t)$ erst speichern und dann rückwärts laufen lassen.

Für die Funktion $f(t) = e^{-t}$ ergeben sich aus (30) und

$$a_i = \int_0^\infty f(t)\, L_i(t)\, e^{-t}\, dt\,,$$

die ersten Entwicklungkoeffizienten zu

$$a_0 = \frac{1}{2}\,,\quad a_1 = \frac{1}{4}\,,\quad a_2 = \frac{1}{8}\,,\quad a_3 = \frac{1}{16}\,.$$

Der Fehler, der durch die endliche Rechenzeit bei (29) entsteht, ist im vorliegenden Fall von der folgenden Größenordnung. Für $T = 1$ weichen die Koeffizienten a_i (1) um rund $5 \cdot 10^{-2}$ von den richtigen Werten ab, für $T = 5$ um rund 10^{-5} und für $T = 10$ schon nur noch um 10^{-8}. Dann ist aber auch f (10) schon bis auf $5 \cdot 10^{-5}$ abgeklungen.

Zu den Beispielen dieser Gruppe kann man auch das unter 1 genannte Beispiel zählen [4]. Die Laplace-Transformierten des Orthogonalsystems von (18) sind für reelle β_i in (17)

$$\Phi_k(s) = \sqrt{2\,\beta_k}\, \prod_{i=1}^{k} \frac{s - \beta_i}{(s + \beta_i)\,(s + \beta_k)}\,. \tag{32}$$

Hier läßt sich direkt eine Darstellung in der Form (15) angeben. Man erhält dann statt der Schaltung von Bild 6 eine dem Bild 10 ähnliche Rechenschaltung.

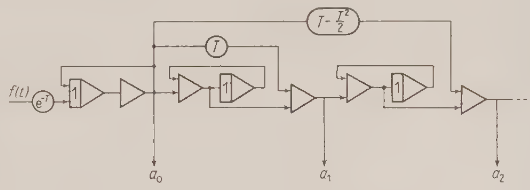


Bild 10. Entwicklung nach Laguerreschen Polynomen.

Literatur

[1] *E. Madelung*, Die mathematischen Hilfsmittel des Physikers. 4. Aufl., Springer, Berlin 1950.

[2] *F. G. Tricomi*, Vorlesungen über Orthogonalreihen. Springer, Berlin 1955.

[3] *E. Mishkin*, On the computer realization of an orthonormal spectrum of a given signal function. Proc. IRE 47 (1959), H. 5, S. 1003–1004.

[4] *L. Braun, E. Mishkin, J. G. Truxal*, On the approximation of process dynamics in computer-controlled adaptive systems. Vortrag beim IFAC-Kongreß 1960, Moskau.

[5] Adaptive control systems. Ed. by *E. Mishkin* u. *L. Braun*. McGraw-Hill, New York 1961.

Zur Nachbildung von Totzeiten mit Elementen des Analogrechners

The approximation of time delay with units of analog computers

Von W. AMMON,
Institut für Automation
der AEG, Frankfurt/M.

Elektron. Rechenanl. 3 (1961), H. 5, S. 217—224
Manuskripteingang: 24. 6. 1961

In der üblichen Literatur zur Einführung in die Analogrechentechnik ebenso wie in einer Reihe von Veröffentlichungen über die Nachbildung von Totzeiten werden stets ganz bestimmte Näherungen und Schaltungen für die Nachbildung von Totzeiten angegeben. Es ist jedoch sehr wenig bekannt, auf welche Weise man zu diesen Näherungen und Schaltungen gelangt und ob sie gut oder schlecht sind. Daher werden in diesem Aufsatz zunächst ein systematischer Überblick über die gebräuchlichen Näherungen und ihre Herleitung gegeben und Aussagen über ihre Güte gemacht. Dann werden die Möglichkeiten erläutert, wie man die Näherungen praktisch realisieren kann, wobei insbesondere auf die Nachbildung mit Hilfe von Rechenverstärkern und RC-Netzwerken eingegangen wird.

In the usual literature on analogue computing techniques as well as in a number of publications on the approximation of time delay some special mathematical expressions and electrical circuits are constantly used to approximate time delays. Generally, however, it is not known how such approximations can be found and whether they are satisfactorily or not. Therefore, this paper gives first of all a systematical survey of the usual approximations, their derivation, and statements on their quality. Then an explanation is given on the possibilities regarding the realisation of the mathematical expressions with analogue-computer components, particularly with computer amplifiers in combination with RC-networks.

1. Einführung

Bei der Nachbildung von Regelstrecken auf dem Analogrechner ist es öfters notwendig, Totzeitglieder mit fester Totzeit T_t herzustellen. Man möchte natürlich diese Totzeiten ohne großen Arbeitsaufwand nachbilden, daher scheiden die üblichen *LC*-Laufzeitketten aus. Es ist vielmehr naheliegend, die Elemente des Analogrechners selbst zur Nachbildung einer Totzeit zu benutzen.

In diesem Aufsatz soll zunächst ein Überblick gegeben werden, wie man zu den verschiedenen mathematischen Beziehungen gelangt, die die Totzeit näherungsweise beschreiben, und wie gut sie die ideale Totzeit annähern. Im weiteren werden praktische Nachbildungen für die gefundenen mathematischen Ausdrücke angegeben und insbesondere die Kombination von Rechenverstärkern mit passiven *RC*-Netzwerken näher untersucht.

2. Mathematische Näherungen für die Totzeit

Da der Analogrechner und seine Bauelemente — sofern man von „Trickschaltungen" absieht — grundsätzlich nur zur Nachbildung von Differentialgleichungen geeignet sind, muß auch eine Totzeit durch geeignete Differentialgleichungen nachgebildet werden, obgleich sie durch eine Differenzengleichung definiert ist, nämlich

$$x_A(t) = x_E(t) - T_t) \,, \tag{1}$$

wo $x_E(t)$ die Eingangsfunktion, $x_A(t)$ die Ausgangsfunktion und T_t die Totzeit bezeichnen. Das Problem wird übersichtlicher, wenn man statt Gleichung (1) deren Laplace-Transformierte

$$\frac{x_A(s)}{x_E(s)} = e^{-sT_t} \tag{2}$$

den weiteren Untersuchungen zugrunde legt.

Die Frage lautet nun: Durch welche rationalen Funktionen kann Gl. (2) gut angenähert werden, denn jede rationale Funktion im Bildbereich der Laplace-Transformation führt auf eine Differentialgleichung im Zeitbereich.

Besonders naheliegend ist die Entwicklung in eine Taylorreihe

$$e^{-sT_t} = \frac{1}{1 + \frac{sT_t}{1\,!} + \frac{(sT_t)^2}{2\,!} + \frac{(sT_t)^3}{3\,!} + \ldots\ldots} \tag{3}$$

Die im Nenner stehende Taylorreihe für e^{+sT_t} ist zwar konvergent für alle Werte sT_t, jedoch konvergiert sie sehr schlecht für Werte $sT_t > 1$. Bessere Näherungen sind die folgenden Grenzwerte:

$$e^{-sT_t} = \lim_{\nu \to \infty} \left[\frac{1}{1 + \frac{sT_t}{\nu} + \frac{(b\,sT_t)^2}{\nu^2}}\right]^{\nu} \tag{4}$$

$$e^{-sT_t} = \lim_{\nu \to \infty} \left[\frac{1 - \frac{sT_t}{2\nu} + \frac{(bsT_t)^2}{\nu^2}}{1 + \frac{sT_t}{2\nu} + \frac{(bsT_t)^2}{\nu^2}}\right]^{\nu} \tag{5}$$

b ist frei wählbar innerhalb $0 \leq b < \infty$

Rechnet man nur mit einer endlichen Zahl ν, dann beschreibt der Ausdruck (4) einen Tiefpaß und Ausdruck (5) einen Allpaß; man spricht daher von „Tiefpaß-" bzw. „Allpaß-Nachbildungen". In der Praxis werden Näherungen der Formen (4) und (5) in etwas abgewandelter Art benutzt. Da man ν nicht genügend groß wählen kann, weil sonst die Nachbildungen der erhaltenen Funktionen zu aufwendig würden, nähert man die gewünschte Funktion e^{-sT_t} besser wie folgt an:

Tiefpaß-Näherung in Anlehnung an Gl. (4)

$$e^{-sT_t} \approx \prod_{k=1}^{\nu} \frac{1}{1 + s\,2\,\beta_k\,T_k + (s\,T_k)^2} \tag{6}$$

und Allpaß-Nachbildung in Anlehnung an Gl. (5)

$$e^{-sT_t} \approx \prod_{i=1}^{\nu} \frac{1 - s\,2\,\beta_i\,T_i + (s\,T_i)^2}{1 + s\,2\,\beta_i\,T_i + (s\,T_i)^2} \tag{7}$$

β_K, β_i, T_K und T_i sind in diesen Ausdrücken so zu wählen, daß möglichst gute Näherungen für e^{-sT_t} erzielt werden. Die Gesamttotzeiten, die man mit den Näherungen nach Gl. (6) und (7) erreichen kann, hängen in folgender Weise von β_K und T_K bzw. β_i und T_i ab:

Für Gleichung (6)

$$T_t = 2 \sum_{k=1}^{\nu} \beta_k\,T_k\,; \tag{8}$$

für Gleichung (7)

$$T_t = 4 \sum_{i=1}^{\nu} \beta_i\,T_i\,. \tag{9}$$

Für welche β und T sich günstige Näherungen gemäß Gl. (6) und (7) ergeben, kann man nur empirisch bestimmen anhand der Frequenzkennlinien, d. h. des Amplituden- und Phasenverlaufes als Funktion von ω. Diesen erhält man durch Ersatz von s durch $j\omega$ in den Näherungen für e^{-sT_t}. Der Frequenzgang von e^{-sT_t} ist $e^{-j\omega T_t}$ oder, zerlegt in Amplituden- und Phasengang:

$$\varphi = -\,\omega T_t; \left| e^{-j\omega T_t} \right| = 1.$$

Prinzipiell sind Allpaß-Nachbildungen stets besser als Tiefpaßnäherungen, weil der Betrag des Übertragungsmaßes der Allpässe auch Eins ist; es können bei diesen daher überhaupt nur Phasenfehler auftreten. Weil der Mehraufwand für die Realisierung der Allpaß-Glieder nicht wesentlich ist — wie aus den weiteren Betrachtungen noch hervorgehen wird —, werden in der Praxis Allpaß-Näherungen bevorzugt. Daneben haben nur reine Tiefpaß-Näherungen eine gewisse Bedeutung, wenn sie durch Rechenverstärker mit *RC*-Netzwerken realisiert werden.

Wie schon gesagt, ist die Ermittlung günstiger Näherungen nach Gl. (6) oder (7) nur empirisch möglich. Da es aber erwünscht ist, ohne langes Probieren auf rein rechnerischem Weg gute Näherungen zu bestimmen, benutzt man mit Vorteil eine andere mathematische Approximation für Gl. (2). Man nähert die Exponentialfunktion durch eine gebrochen rationale Funktion an

$$e^{-sT_t} \approx \frac{Z(s)}{N(s)} \left(\text{exakt: } e^{-sT_t} = \lim_{(n+m) \to \infty} \frac{Z(s)}{N(s)} \right), \tag{10}$$

wobei $Z(s)$ und $N(s)$ Polynome in s sind, und zwar

$$Z(s) = b_o + b_1 s + b_2 s^2 + \ldots .\, b_n s^n = \sum_{\nu=o}^{n} b_\nu s^\nu \tag{11}$$

$$N(s) = c_o + c_1 s + c_2 s^2 + \ldots .\, c_m s^m = \sum_{\nu=o}^{m} c_\nu s^\nu\,. \tag{12}$$

Dieses Verfahren zur Näherung beliebiger Funktionen $G(s)$ durch eine gebrochen rationale Funktion ist unter dem Namen „Padé-Approximation" bekannt [2].

Die Koeffizienten b_ν und c_ν werden auf folgende Weise bestimmt: Eine Reihenentwicklung der gegebenen Funktion $G(s)$ um den Nullpunkt ergibt allgemein:

$$G(s) = a_o + a_1 s + a_2 s^2 + \ldots . \tag{13}$$

Im Nullpunkt müssen gegebene Funktion $G(s)$ und Näherung $Z(s)/N(s)$ in jedem Fall übereinstimmen, also:

$$G(0) = \frac{Z(0)}{N(0)}, \text{ d. h. } a_o = \frac{b_o}{c_o}.$$

Die verbleibenden $n + m + 1$ Koeffizienten b_ν und c_ν der Näherungsfunktion $\frac{Z(s)}{N(s)}$ können nun so bestimmt werden, daß die Reihenentwicklung von $\frac{Z(s)}{N(s)}$ bis zum Glied mit der Potenz s^{n+m} vollständig übereinstimmt mit der Reihe für $G(s)$. Die Reihenentwicklung für die Funktion

$$\varnothing(s) = G(s)\,N(s) - Z(s) \tag{14}$$

beginnt dann mit

$$\varnothing(s) = d_1 s^{n+m+1} + d_2 s^{n+m+2} + d_3 s^{n+m+3} + \dots \tag{15}$$

und es ist

$$G(s) = \frac{Z(s)}{N(s)} + \frac{\varnothing(s)}{N(s)}, \tag{16}$$

$$G(s) \approx \frac{Z(s)}{N(s)} \text{ für genügend großes } n \text{ und } m.$$

Zur Bestimmung der b_ν und c_ν bildet man gemäß Gl. (14) aus den Reihen für $G(s)$, $N(s)$ und $Z(s)$ die Reihe für $\varnothing(s)$. Nach der Bedingung Gl. (15) sollen in der Reihe für $\varnothing(s)$ die Koeffizienten der Glieder von s^0 bis s^{n+m} Null sein, ferner soll der Koeffizient von s^{n+m+1} Eins sein. Man erhält mit diesen Bedingungen ein lineares Gleichungssystem, aus dem man die b_ν und c_ν durch die bekannten a_ν ausdrücken kann. Somit lassen sich auch die Reihen $Z(s)$ und $N(s)$ angeben. Für den Fall, daß $G(s) = e^{-sT_t}$ ist, erhält man

$$Z(s) = 1 - \binom{n}{1}\frac{1}{n+m}\,sT_t + \binom{n}{2}\frac{(sT_t)^2}{(n+m)(n+m-1)} - + \dots + (-1)^n\binom{n}{n}\frac{(sT_t)^n}{(n+m)(n+m-1)\dots(m+1)} \tag{17}$$

$$N(s) = 1 + \binom{m}{1}\frac{sT_t}{n+m} + \binom{m}{2}\frac{(sT_t)^2}{(n+m)(n+m-1)} + \dots + \binom{m}{m}\frac{(sT_t)^m}{(n+m)(n+m-1)\dots(n+1)}. \tag{18}$$

Die Güte der Näherungen, die man für verschiedene n und m gemäß Gl. (17), (18) und (10) erhält, werden am besten wieder nach ihren Frequenzlinien beurteilt. Da es natürlich in diesem Rahmen zu weit führen würde, alle möglichen

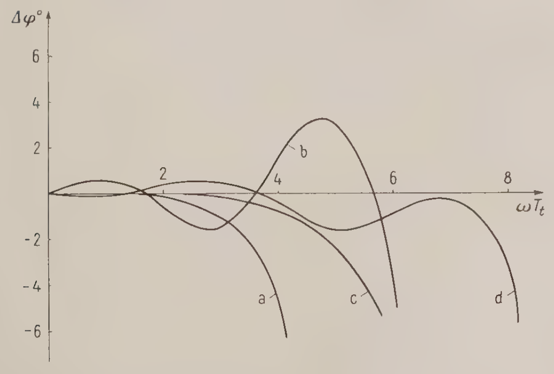


Bild 1. Phasenfehler verschiedener Allpaß-Näherungen nach Tabelle 2 gegenüber der idealen Totzeit.
a reine Padé-Näherung 1. Ordnung
b 2. variierte Allpaß-Näherung 1. Ordnung
c reine Padé-Näherung 2. Ordnung
d variierte Allpaß-Näherung 2. Ordnung

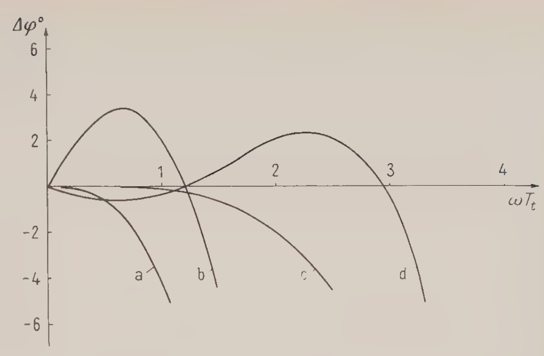


Bild 2. Phasenfehler verschiedener Allpaß-Näherungen nach Tabelle 2 gegenüber der idealen Totzeit.
a reine Padé-Näherung 3. Ordnung
b variierte Allpaß-Näherung 3. Ordnung
c reine Padé-Näherung 4. Ordnung
d variierte Allpaß-Näherung 4. Ordnung

Näherungen näher zu untersuchen, sei das Ergebnis ohne Beweis angegeben:

Von praktischem Interesse sind nur die Näherungen, bei denen $n = m$ und $n = 0$ ist. Die erste Gruppe stellt die sogenannten „Allpaß"-Näherungen dar; die zweite Gruppe, bei denen $n = 0$ ist, sind reine Tiefpässe. Alle anderen Näherungen scheiden aus der weiteren Betrachtung aus, weil sie in ihrem Frequenzgang schlechter als die benachbarten Allpaß-Approximationen sind und auch keinerlei Vorteile bei ihrer Nachbildung gegenüber den Allpaß- und Tiefpaßnäherungen aufweisen. Dies wird auch aus einer Tabelle ersichtlich, in der die Grenzwerte eingetragen sind, bis zu der die einzelnen Näherungen brauchbar sind.

Als Grenzwert wurde dabei der Wert von ωT_t definiert, bei dem entweder der Phasenfehler 3,6° oder der Amplitudenfehler 1% = 0,08 dB beträgt.

Tabelle 1. Grenzwerte der Padé-Allpaß-Näherungen

m \ n	0	1	2	3	4	5
0	—	(0,17)	(0,5)	(0,8)	(1,1)	(1,7)
1	0,17	0,94	(0,9)	(1,1)	(2,1)	(2,3)
2	0,5	0,9	2,37	(2,1)	(2,4)	(3,7)
3	0,8	1,1	2,1	3,8	(3)	(4,1)
4	1,1	2,1	2,4	3	5,4	(4,3)
5	1,7	2,3	3,7	4,1	4,3	7,1

(Die Werte dieser Tabelle wurden aus den einzelnen Frequenzkennlinien ermittelt.)

Unterhalb dieser Grenzwerte nimmt der Phasenfehler monoton ab.

Läßt man zu, daß der Phasenfehler unterhalb des Grenzwertes nicht monoton abnimmt — (d. h., man muß u. U. auch weit unterhalb des Grenzwertes mit Fehlern von 2 bis 3° rechnen!) — dann lassen sich die Padé-Approximationen noch erheblich verbessern, indem man die Koeffizienten in Zähler- und Nennerpolynom geringfügig ändert. Bei den Allpaßnäherungen 1. bis 4. Ordnung wurden die Koeffizienten systematisch variiert und der Einfluß auf den Frequenzgang mit Hilfe eines Digitalrechners zahlenmäßig ermittelt. Durch systematisches Probieren kamen schließlich Näherungen zustande, deren Grenzwerte bis zu 50% höher lagen als die der reinen Pade-Approximationen, wobei allerdings ein größerer Fehler unterhalb des Grenzwertes in Kauf genommen werden muß. Die Frequenzgänge der günstigsten Näherungen sind in Bild 1 und 2 dargestellt. Die variierten Allpaß-Näherungen entsprechen in ihrem Aufbau Gl. (7) und man wäre selbstverständlich auch

Tabelle 2. Zusammenstellung der günstigsten Allpaß-Approximationen.

a) Reine Padé-Allpaßnäherungen	$(\omega T_t)_G$	b) Variierte Allpaßnäherungen	$(\omega T_t)_G$	Fehlermaxima unterhalb $(\omega T_t)_G$
$\frac{1-0{,}5\,sT_t}{1+0{,}5\,sT_t}$	0,94	1. $\frac{1-0{,}53\,sT_t}{1+0{,}53\,sT_t}$	1,18	$+1^\circ$
		2. $\frac{1-0{,}57\,sT_t}{1+0{,}57\,sT_t}$	1,43	$+3{,}4^\circ$
$\frac{1-0{,}5\,sT_t+0{,}0833\,(sT_t)^2}{1+0{,}5\,sT_t+0{,}0833\,(sT_t)^2}$	2,37	$\frac{1-0{,}49\,sT_t+0{,}099\,(sT_t)^2}{1+0{,}49\,sT_t+0{,}099\,(sT_t)^2}$	3,3	$+2{,}5^\circ$ $-0{,}5^\circ$
$\frac{1-0{,}5\,sT_t+0{,}1\,(sT_t)^2-0{,}00833\,(sT_t)^3}{1+0{,}5\,sT_t+0{,}1\,(sT_t)^2+0{,}00833\,(sT_t)^3}$	3,8	$\frac{1-0{,}51\,sT_t+0{,}1\,(sT_t)^2-0{,}012\,(sT_t)^3}{1+0{,}51\,sT_t+0{,}1\,(sT_t)^2+0{,}012\,(sT_t)^3}$	5,9	$+3{,}4^\circ$ $-1{,}6^\circ$ $+0{,}6^\circ$
$\frac{1-0{,}5\,sT_t+0{,}107\,(sT_t)^2-0{,}0119\,(sT_t)^3+5{,}95\cdot 10^{-4}\,(sT_t)^4}{1+0{,}5\,sT_t+0{,}107\,(sT_t)^2+0{,}0119\,(sT_t)^3+5{,}95\cdot 10^{-4}\,(sT_t)^4}$	5,4	$\frac{1-0{,}499\,sT_t+0{,}1117\,(sT_t)^2-0{,}01265\,(sT_t)^3+9{,}31\cdot 10^{-4}\,(sT)^4}{1+0{,}499\,sT_t+0{,}1117\,(sT_t)^2+0{,}01265\,(sT_t)^3+9{,}31\cdot 10^{-4}\,(sT_t)^4}$	8	$-1{,}6^\circ$ $+0{,}5^\circ$

direkt aus Gl. (7) zu denselben Ergebnissen gekommen [1]. Bei vorheriger Entwicklung der reinen Padé-Näherung hat man jedoch schon einen guten Ausgangspunkt für die Variation.

3. Die praktische Nachbildung von Totzeiten

Nachdem man aus den bisherigen Untersuchungen weiß, welche Näherungen das beste Frequenzverhalten haben, erhebt sich nun die Frage: wie sind die Näherungen mit den Mitteln des Anologrechners zu realisieren?

3.1 Nachbildung durch Rechenverstärker und Potentiometer

Am bequemsten und bekanntesten — wenn auch aufwendig — ist die Realisierung nur durch Rechenverstärker und Potentiometer. Die Methodik, mit der man solche Schaltungen aufbaut, ist bekannt und braucht nicht erläutert zu werden. Die Schaltungen findet man beispielsweise in [7]. Die Zahl der notwendigen Rechenverstärker ist nur durch die in der Näherung vorkommende höchste Potenz von sT_t bestimmt; daraus ist ersichtlich, daß man bei dieser Methode zweckmäßig nur Allpaß-Nachbildungen benutzt.

3.2 Nachbildung durch Rechenverstärker und RC-Netzwerke

Eine etwas umständlichere, aber weniger aufwendige Art der Nachbildung ist bei Verwendung von passiven *RC*-Netzwerken in Verbindung mit Rechenverstärkern möglich. Die Beschränkung auf *RC*-Netzwerke hat ihren Grund darin, daß man mit Induktivitäten schlecht hantieren kann, weil sie einmal unhandlich sind und weil man sie nicht in feinen Stufen wie etwa Kapazitäten zur Verfügung hat.

Welches Übertragungsmaß man mit einem Netzwerk realisieren kann, hängt von der Verteilung der Pole und Nullstellen des Übertragungsmaßes ab. Wie schon erwähnt, sollen nur die Allpaß-Näherungen weiter untersucht werden. Für sie sind zwei Schreibarten möglich;

a) wie bisher benutzt:

$$\frac{Z(s)}{N(s)} = \frac{1 - aT_ts + b\,(T_ts)^2 - c\,(T_ts)^3 + \ldots}{1 + aT_ts + b\,(T_ts)^2 + c\,(T_ts)^3 + \ldots}, \tag{19}$$

b) nach Division des Zählers durch den Nenner:

$$\frac{Z(s)}{N(s)} = 1 - 2\,\underbrace{\frac{aT_ts + c\,(T_ts)^3 + e\,(T_ts)^5 + \ldots}{1 + aT_ts + b\,(T_ts)^2 + c\,(T_ts)^3 + \ldots}}_{\text{Restglied}}. \tag{20}$$

Bei Schreibart a liegen die Nullstellen in der rechten Halbebene, und zwar als konjugiert komplexe Wurzelpaare; Allpaß-Näherungen gerader Ordnung haben außerdem noch eine Nullstelle auf der positiven reellen Achse. Die Pole liegen in der linken Halbebene, ebenfalls als konjugiert komplexe Wurzelpaare, bzw. auf der negativen reellen Achse.

Bei Schreibart b liegen die Nullstellen des Restgliedes bei $s = 0$ und auf der Imaginärachse. Lage der Pole wie bei Schreibart a.

Grundsätzlich hat man zwei Möglichkeiten, ein gegebenes Übertragungsmaß durch Rechenverstärker in Verbindung mit *RC*-Netzwerken herzustellen:

A) Nach der allgemein bekannten Art schaltet man in den Eingangs- und/oder den Rückkopplungszweig eines Rechenverstärkers passive *RC*-Netzwerke, die in diesem Fall als Vierpole ausgebildet sein müssen, bei denen je eine Eingangs- und Ausgangsklemme verbunden sind.

B) Man fügt den Rechenverstärker unmittelbar in ein *RC*-Netzwerk ein und betrachtet das Ganze als aktiven Vierpol:

Zunächst wird Möglichkeit A weiterverfolgt.

3.2.1 Rechenverstärker und passive Netzwerke

Die in Bild 3 angegebene Schaltung hat bei der Annahme $U_g \ll U_A, U_E$ und $i_3 \approx 0$ das Übertragungsmaß

$$\frac{U_A}{U_E} = -\frac{Z_0}{Z_1} \tag{21}$$

wobei

$$Z_0 = \frac{U_A}{i_0} = \left(\frac{1}{y_{21}}\right)_0 \quad \text{und} \quad Z_1 = \frac{U_E}{i_1} = \left(\frac{1}{y_{21}}\right)_1 \tag{22}$$

sind.

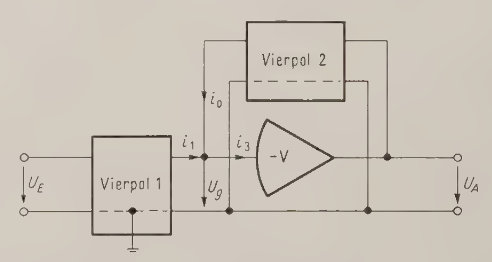


Bild 3. Darstellung eines Rechenverstärkers mit passiven Netzwerken in Eingangs- und Rückführungszweig.

Die beiden Leitwerte y_{21} gehören zu den sog. Vierpolkonstanten. Sie hängen mit den Strömen und Spannungen eines allgemeinen Vierpols wie folgt zusammen;

$$I_1 = y_{11}U_1 + y_{12}U_2, \qquad (23)$$
$$I_2 = y_{21}U_1 + y_{22}U_2.$$

Aus der Theorie der Netzwerke weiß man, daß die Vierpolleitwerte bei *RC*-Netzwerken folgenden Bedingungen genügen müssen:

1. y_{11}, y_{12}, y_{21} und y_{22} müssen einfache Pole haben, die auf der negativen reellen Achse der s-Ebene liegen.
2. Die Nullstellen von y_{11} und y_{22} müssen einfach sein und auf der negativen reellen Achse liegen.
3. Pole und Nullstellen von y_{11} und y_{22} müssen einander abwechseln; die niedrigste kritische Frequenz muß eine Nullstelle sein, die höchste kritische Frequenz ein Pol.
4. y_{12} und y_{21} müssen die gleichen Pole haben wie y_{11} bzw. y_{22}.
5. Die Nullstellen von y_{12} und y_{21} können in der gesamten s-Ebene liegen, jedoch müssen komplexe Nullstellen stets als konjugiert komplexe Wurzelpaare auftreten.

Eine weitere Beschränkung resultiert aus den zur Verfügung stehenden Verfahren zur Netzwerksynthese, nämlich:

6. Alle Koeffizienten im Zählerpolynom von y_{12} bzw. y_{21} müssen positiv sein; d. h., es dürfen keine Nullstellen auf der positiven reellen Achse liegen.

Für das vorliegende Problem, ein gegebenes Übertragungsmaß durch *RC*-Netzwerke mit oder — wenn möglich — sogar ohne Rechenverstärker herzustellen, kommen folgende Möglichkeiten in Betracht:

a) Man realisiert — soweit möglich — die Näherung $\frac{Z(s)}{N(s)}$ *nur* durch ein *RC*-Netzwerk. In diesem Falle müßte z. B. gelten

$$\frac{U_2}{U_1} \quad \frac{y_{21}}{y_{22}} = \frac{Z(s)}{N(s)} \qquad (24)$$

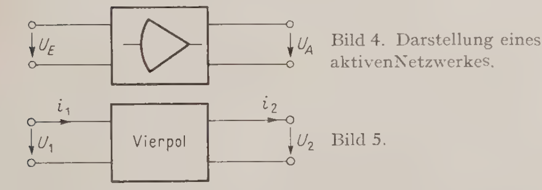


Bild 4. Darstellung eines aktivenNetzwerkes.

Bild 5.

b) Man kombiniert *RC*-Netzwerke mit Rechenverstärkern in der bereits angegebenen Form (Bild 3). Hier müßte

$$\frac{U_A}{U_E} \approx \frac{-(y_{21})_1}{(y_{21})_0} \quad \frac{Z(s)}{N(s)} \qquad (25)$$

oder — für die Realisierung einer Näherung nach Schreibart Gl. (20)

$$\frac{U_A}{U_E} = \frac{-(y_{21})_1}{(y_{21})_0} = -\left[\frac{Z(s)}{N(s)} \quad 1\right] \text{ sein.} \qquad (26)$$

Aus den unter 1. bis 6. angegebenen Grundforderungen, den Gleichungen (24) bis (26) und der Kenntnis der Lage von Polen und Nullstellen bei den nachzubildenden Übertragungsmaßen $\frac{Z(s)}{N(s)}$, kann bereits angegeben werden, in welcher Form die Allpaß-Näherungen nach Tabelle 2 und die reine Tiefpaß-Näherung nach Gleichung (6) bzw. (18) verwirklicht werden müssen.

α) Nur durch ein *RC*-Netzwerk ohne Rechenverstärker kann *keine* der Näherungen realisiert werden.

β) Durch *RC*-Netzwerke in Verbindung mit 1 Rechenverstärker können die Allpaß-Nachbildungen gerader Ordnung und alle reinen Tiefpaß-Näherungen wie nach Bild 3 realisiert werden.

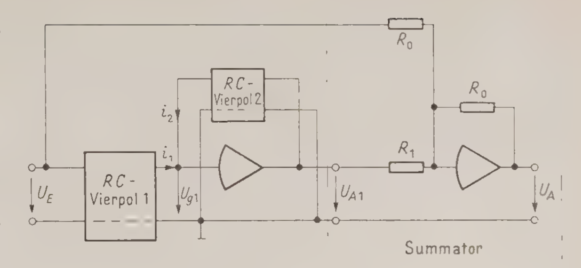


Bild 6. Nachbildung einer Allpaß-Näherung nach Gl. (20).

Nach Gl. (25) muß $\frac{(y_{21})_1}{(y_{21})_0} = \frac{Z(s)}{N(s)}$ sein.

Da Pole von y_{21} nur auf der negativen reellen Achse erlaubt sind, während die Nullstellen für y_{21} konjugiert komplex sein und in der gesamten s-Ebene mit Ausnahme der positiven reellen Achse liegen dürfen, andererseits aber bei den Allpaß-Näherungen sowohl im Zählerpolynom $Z(s)$ als auch im Nennerpolynom $N(s)$ komplexe Wurzeln auftreten, muß $\frac{Z(s)}{N(s)}$ mit einem Polynom $P(s)$ erweitert werden, das die reellen Pole darstellt, also

$$\frac{(y_{21})_1}{(y_{21})_0} \quad \frac{\frac{Z(s)}{P(s)}}{\frac{N(s)}{P(s)}} \qquad (27)$$

Der Grad von $P(s)$ muß gleich oder größer sein als der von $Z(s)$ bzw. $N(s)$.

γ) Durch *RC*-Netzwerke in Verbindung mit 2 Rechenverstärkern in der Schaltung nach Bild 6 können alle Allpaß-Näherungen realisiert werden, sofern sie in Form der Gl. (20) dargestellt werden.

Der Verstärker mit den Netzwerken realisiert dann das Restglied der Gl. (20).

Zur Synthese von Netzwerken, deren Übertragungsleitwert y_{21} (bzw. y_{12}, da $y_{21} = -y_{12}$ für *passive* Vierpole) komplexe Nullstellen besitzen muß und die außerdem erd*un*symmetrisch sein müssen, kommen nur zwei Verfahren in Frage:

1. Synthese nach Dasher [4];
2. Synthese nach Guillemin [3] und Weinberg [5].

Für die eben genannten Syntheseverfahren müssen die Vierpolleitwerte folgenden Bedingungen genügen:

1. Verfahren nach Dasher:
   y_{11}, y_{22}, y_{12} (und y_{21}) müssen die gleichen Pole haben. Diese müssen einfach sein und auf der negativen reellen Achse liegen. y_{11} und y_{22} können außerdem noch Pole haben, die y_{12} (bzw. y_{21}) nicht hat, die jedoch ebenfalls auf der negativen reellen Achse liegen müssen. Die Nullstellen von y_{11} und y_{22} müssen ebenfalls einfach sein und auf der negativen reellen Achse liegen. Die Nullstellen von y_{12} (bzw. y_{21}) können in der linken s-Ebene und auf der Imaginärachse liegen. In allgemeiner Form:

$$y_{11} = \frac{p(s)}{n(s) \cdot q(s)}\,;\; y_{12} = -y_{21} = \frac{m(s)}{q(s)}, \qquad (28)$$

wo $p(s)$, $n(s)$, $q(s)$ Polynome in s sind, deren Nullstellen einfach sind und auf der negativen reellen Achse liegen.

Das Verfahren nach Dasher kann nur benutzt werden bei den Allpaß-Näherungen mit 2 Verstärkern (in Schreibart nach Gl. (20) sowie für die Tiefpaß-Näherungen.

2. Verfahren nach Guillemin/Weinberg:
   Die Vierpolleitwerte $y_{11} \cdot y_{22} \cdot y_{12}$ (und y_{21}) müssen denselben Bedingungen genügen wie bei Dasher mit der Ausnahme, daß die Nullstellen von y_{12} (bzw. y_{21}) in der gesamten s-Ebene außer auf der positiven reellen Achse liegen dürfen.

   Das Verfahren nach Guillemin ist deshalb theoretisch für sämtliche Allpaß-Näherungen mit 2 Verstärkern in Schreibart nach Gl. (28), für die Allpaß-Näherungen *gerader* Ordnung mit 1 Verstärker (Schreibart nach Gl. (19)) sowie für die Tiefpaß-Näherungen brauchbar. Allerdings werden die Netzwerke so umfangreich, daß diese Methode für praktische Zwecke wohl nicht in Frage kommt.

Eine nach dem Verfahren von Dasher ausgeführte Synthese ergab folgende Schaltung für die Allpaß-Näherung (Bild 7).

$$\frac{Z(s)}{N(s)} = \frac{1 - 0{,}5\,sT_t + 0{,}1\,(sT_t)^2 - 0{,}00833\,(sT_t)^3}{1 + 0{,}5\,sT_t + 0{,}1\,(sT_t)^2 + 0{,}00833\,(sT_t)^3}$$

An dieser Stelle ist auch etwas zu den reinen Tiefpaß-Näherungen zu sagen, wie sie durch Gl. (6) bzw. (18) beschrieben werden. Bei den Tiefpaß-Näherungen ist $Z(s) = 1$, und die Wurzeln des Nenners liegen in der linken Halbebene, und zwar als konjugiert komplexe Wurzelpaare bei geradem Grad des Nenners und zusätzlicher Wurzel auf der negativen reellen Achse bei ungeradem Grad von $N(s)$. Das Polynom $N(s)$ wird zur Darstellung als RC-Vierpole in Faktoren aus quadratischen Gliedern $N_{2i}(s)$ und linearen Gliedern $N_{1i}(s)$ zerlegt:

$$e^{-sT_t} \approx \frac{1}{N(s)} = \frac{1}{N_1(s)\prod_{i=1}^{k} N_{2i}(s)} \tag{29}$$

Die Gleichung wird durch Schaltung Bild 3 nachgebildet. Es ist

$$\frac{U_A}{U_E} = \frac{Z_0}{Z_1} = \frac{1}{N_1(s)\prod_{i=1}^{k} N_{2i}(s)} \tag{30}$$

Der RC-Vierpol 2 realisiert nur die quadratischen Faktoren $N_{2i}(s)$, welche demnach als Nullstellen von $(y_{21})_0 = \frac{1}{Z_0}$ erscheinen.

Da $(y_{21})_0$ auch Pole auf der negativen reellen Achse haben muß, und zwar mindestens einen für ein konjugiert komplexes Nullstellenpaar, stellt der Vierpol 2 also insgesamt folgendes Übertragungsmaß $\frac{U_A}{i_0}$ her:

$$\frac{U_A}{i_0} = Z_0 = \left(\frac{1}{y_{21}}\right)_0 = \frac{\prod_{i=1}^{2k-1} N_{1i}(s)}{\prod_{i=1}^{k} N_{2i}(s)} \tag{31}$$

$$\text{wo } N_{1i}(s) = 1 + sa_i \;; \quad (a_i > 0)$$

$$\text{und } N_{2i}(s) = 1 + sb_i + s^2 c_i$$

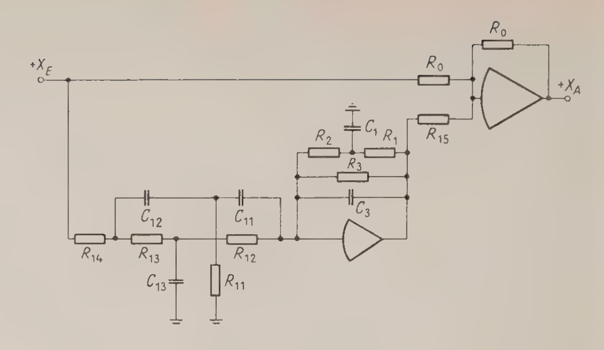
sind.

Der Vierpol 1 realisiert das Übertragungsmaß

$$\frac{U_E}{i_1} = Z_1 = \left(\frac{1}{y_{21}}\right)_1 = N_1(s) \cdot \prod_{i=1}^{2k-1} N_{1i}(s)\,, \tag{32}$$

sodaß das gesamte Übertragungsmaß der Anordnung

$$\frac{U_A}{U_E} = \frac{Z_0}{Z_1} = \frac{1}{N_1(s) \cdot \prod_{i=1}^{k} N_{2i}(s)}$$



Realisierungsbedingungen:
reine Padé-Approximation

$a = 0{,}5$
$b = 0{,}1$
$c = 0{,}00833$

$R_1 = \frac{T_t}{k_0} \cdot 0{,}1915$

$R_2 = \frac{T_t}{k_0} \cdot 0{,}1485$

$R_3 = \frac{T_t}{k_0} \cdot 0{,}735$

$C_1 = 2 \cdot k_0$

$C_3 = k_0$

$R_{11} = \frac{T_t}{k_0} \cdot 0{,}0077$

$R_{12} = \frac{T_t}{k_0} \cdot 0{,}01855$

$R_{13} = \frac{T_t}{k_0} \cdot 1{,}763$

$R_{14} = \frac{T_t}{k_0}$

$C_{11} = k_0 \cdot 26{,}3$

$C_{12} = k_0 \cdot 0{,}277$

$C_{13} = k_0 \cdot 11{,}11$

$R_{15} = R_0 \cdot 0417$

$[T_t] = \sec$

k_0 frei wählbar, möglichst so, daß alle R_ν in MΩ und alle C_ν in μF erscheinen.

Bild 7. Allpaß-Näherung 3. Ordnung ($n = m = 3$).

ist. Die zwangsläufig zusätzlich eingebrachten linearen Glieder $N_{1i}(s)$ müssen demnach durch RC-Vierpol 1 wieder kompensiert werden. Netzwerke mit mehr als einem konjugiert komplexen Wurzelpaar sind dabei auch wieder aufwendig. Da man Tiefpaßnäherungen ohnehin nur verwendet, um mit einem Minimum an Aufwand auszukommen, bieten sie bei Vorhandensein mehrerer komplexer Wurzelpaare keinen Vorteil mehr gegenüber den Allpaßnäherungen. In der Praxis werden daher — soweit dem Verfasser bekannt ist — nur Tiefpaßnäherungen 3. Ordnung benutzt.

Günstige Frequenzgänge erhält man für die folgenden Tiefpaß-Näherungen:

$$\frac{Z(s)}{N(s)} = \frac{1}{1 + sT_t + 0{,}4\,(sT_t)^2 + 0{,}096\,(sT_t)^3}\,, \tag{33}$$

und

$$\frac{Z(s)}{N(s)} = \frac{1}{1 + 0{,}9\,sT_t + 0{,}4\,(sT_t)^2 + 0{,}096\,(sT_t)^3} \tag{34}$$

vergleiche hierzu auch Bild 8.

Die Schaltung für eine Tiefpaßnäherung 3. Ordnung findet man beispielsweise in [8]. Die Realisierungsbedingungen kann man leicht selbst errechnen.

Die Synthese der RC-Netzwerke für die Allpaßnäherungen höherer Ordnung erfordert einmal eine sehr mühselige Rechenarbeit, und außerdem werden die Netzwerke sehr

umfangreich. Die Schwierigkeit liegt eben darin, daß man komplexe Wurzeln mit RC-Gliedern nur durch Parallelschaltung von mehreren RC-Kettenleitern oder — bei Beschränkung der Wurzeln auf die linke s-Ebene einschließlich Imaginärachse — durch geeignete Doppel-T-Vierpole realisieren kann. Solche Gebilde sind aber für die Rechnung unangenehm, vor allem wenn mehrere komplexe Wurzeln hergestellt werden müssen. Nun zu der vorhin angeführten zweiten Realisierungsmöglichkeit B:

3.2.2 RC-Netzwerke mit eingefügten Rechenverstärkern

Wesentlich einfacher wird die Realisierung komplexer Wurzeln, wenn man den Rechenverstärker in ein RC-Netzwerk legt. Eine Trennung in ein passives Netzwerk und den (aktiven) Verstärker ist dann nicht mehr möglich, man hat eben insgesamt einen aktiven Vierpol.

Eine Schaltung, mit der man komplexe Wurzeln realisieren kann, ist z. B. die folgende Anordnung [1]:

$$\frac{x_{A1}}{x_E} = \frac{-s\,C_1\,R}{1 + s\,2\,C_0\,R + s^2\,C_0\,C_1\,R^2} \tag{35}$$

Die Allpaß-Näherungen werden nun in der Form

$$e^{-sT_i} \approx \prod_{i=1}^{\nu} \frac{1 - s\,2\beta_i T_i + (sT_i)^2}{1 + s\,2\beta_i T_i + (sT_i)^2} \tag{36}$$

dargestellt und weiterentwickelt

$$e^{-sT_t} \approx \prod_{i=1}^{\nu} \left[1 - \frac{s\,4\beta_t T_t}{1 + 2\beta_t T_t + (sT_i)^2}\right] \tag{37}$$

Eine Allpaß-Näherung 2. Ordnung sieht dann aus wie in Bild 10 angegeben.

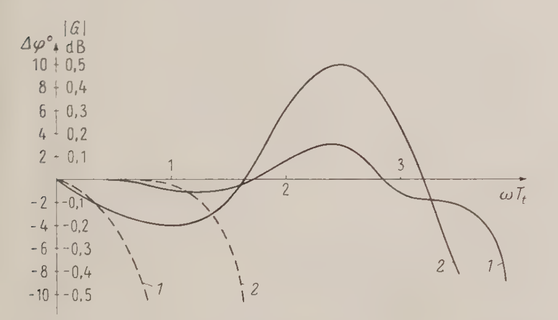


Bild 8. Amplituden- und Phasenfehler von Tiefpaß-Näherungen gegenüber der idealen Totzeit.
1 nach Gl. (33)
2 nach Gl. (34)
gestrichelt: Amplitudengang

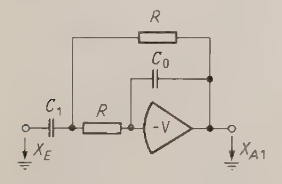
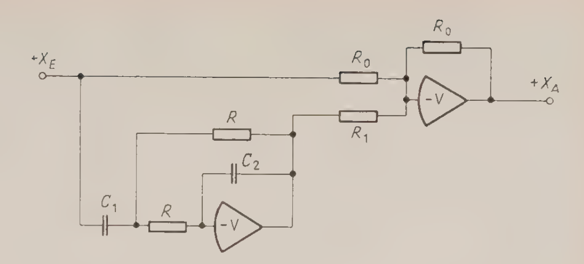


Bild 9. Realsierung eines komplexen Polpaares.

Durch Hintereinanderschaltung solcher Anordnungen kommt man gemäß Gl. (37) zu Näherungen höherer Ordnung. Ausführliche Schaltungen dieser Art findet man in der angeführten Quelle [1]. Die Einsparung von Rechenarbeit ist natürlich mit einem Mehraufwand an Rechenverstärkern erkauft.



Realisierungsbedingungen:

allgemein	reine Padé-Näherung	variierte Allpass-Näher.
	$a = 0{,}5$ $b = 0{,}0833$	$a = 0{,}49$ $b = 0{,}099$
$R = k_0 \cdot T_t$	$R = k_0 \cdot T_t$	$R = k_0 \cdot T_t$
$C_1 = \frac{2}{k_0} \cdot \frac{b}{a}$	$C_1 = \frac{1}{k_0} \cdot 0{,}333$	$C_1 = \frac{1}{k_0} \cdot 0{,}404$
$C_2 = \frac{a}{2k_0}$	$C_2 = \frac{1}{k_0} \cdot 0{,}25$	$C_2 = \frac{1}{k_0} \cdot 0{,}245$
$R_1 = R_0 \frac{b}{a^2}$	$R_1 = R_0 \cdot 0{,}333$	$R = R_0 \cdot 0{,}412$
$T_t = \sec$		

k_0; R_0 frei wählbar, möglichst so, daß $[R_\nu] = \text{M}\Omega$ und $[C_\nu] = \mu\text{F}$.

Bild 10. Allpaß-Näherung 2. Ordnung.

4. Schlußbemerkung

Die aufgezeigten Möglichkeiten zur Annäherung einer Totzeit sollen einen Überblick vermitteln, was man zunächst von den mathematischen Näherungsbeziehungen an Güte und Frequenzumfang erwarten darf und welchen Aufwand man dann treiben muß, um die gefundenen Näherungen praktisch darzustellen. Neben den beschriebenen Verfahren gibt es natürlich noch andere mehr oder weniger gute Möglichkeiten zur Darstellung von Totzeiten, z. B. die Totzeit-Kette aus hintereinander geschalteten Samplern, die jedoch nach ganz anderem Prinzip arbeiten und deshalb in diesem Rahmen unberücksichtigt blieben.

Literatur

[1] *Single, Stubbs,* Transport Delay Simulation Circuits; Report WAPD-T-38 and Supplements; Westinghouse Electric Corporation, Atomic Power Division.

[2] *Teasdale,* Time Domain Approximation by Use of Pade Approximants; Convention Record of JRE, 1953, Part 5, Circuit Theory.

[3] *Guillemin,* Synthesis of RC-Networks; Journal of Mathematics and Physics, Vol. 28 (1949) Nr. 1.

[4] *Dasher,* Synthesis of RC-Transfer Funktions as Unbalanced Two Terminalpair Networks; Transactions of JRE, Professional Group on Circuit Theory, Dez. 1952.

[5] *Weinberg,* Synthesis of Transfer Functions with Poles Restricted to the Negativ Real Axis. Journal of Applied Physics, Vol. 24, Febr. 1953.

[6] *Truxal,* Control System Synthesis, Kapitel 3. Mc Graw-Hill Company.

[7] *Johnson,* Analog Computer Techniques. Mc Graw-Hill Book Company, New York.

[8] VDE-Buchreihe, Band 3, Seite 248.

Apparate und Anlagen

Neue Univac-Datenverarbeitungsanlage mit Trommel- und Kernspeicher

Nachdem kürzlich der 300. Elektronenrechner des Typs Univac UCT-System ausgeliefert werden konnte, hat Remington Rand jetzt mit der UCT II eine mittelgroße elektronische Datenverarbeitungsanlage entwickelt, die sowohl einen Magnetkernspeicher als auch einen Trommelspeicher besitzt (Bild 1). Die Vorzüge beider Speichertypen — extrem kurze Zugriffs- und Operationszeiten sowie eine hohe Arbeitsspeicherkapazität — wurden damit in der UCT II vereint.

Die neue Anlage wurde nach dem Baukastenprinzip konstruiert, so daß sie entsprechend dem Umfang der zu lösenden Aufgaben erweitert werden kann. In der Grundausführung besteht die UCT II aus

- einer Schnell-Leseeinheit mit einer Leistung von 36000 Lochkarten pro Stunde,
- einer Lese- und Stanzeinheit, mit der sich stündlich 9000 Karten lesen und stanzen lassen,
- einer zentralen Recheneinheit mit 9 Indexregistern und einer Magnettrommel, die eine Speicherkapazität von 28000 Stellen besitzt,
- einem Magnetkernspeicher mit einer Kapazität von 12800 Stellen und
- einem Schnelldrucker mit einer Leistungsfähigkeit von 36000 Zeilen in der Stunde bei 130 Schreibstellen pro Zeile.

Der Trommelspeicher kann stufenweise bis zu 50000 Stellen und auf 88000 Stellen ausgebaut werden. Zusammen mit der Kapazität des Kernspeichers besitzt die Anlage in der Endstufe mithin eine interne Speicherkapazität von 100800 Stellen. Daneben können als externe Speicher über einen Synchronisator maximal 10 Magnetbandeinheiten und 10 Randex-Großraumspeicher (Bild 2) sowie über einen zweiten Synchronisator 10 weitere Bandeinheiten angeschlossen werden. Hierbei ermöglicht der zweite Synchronisator das gleichzeitige Lesen von einem Band und Schreiben auf ein anderes Band. Durch diese zahlreichen Anschlußmöglichkeiten ist die UCT II besonders für solche Arbeiten geeignet, bei denen die Benutzung von Magnetbändern und anderen externen Speichern erforderlich ist.

Die Zugriffszeit zum Kernspeicher beträgt 1,5 Mikrosekunden. Befehle zur Übertragung von Mehrwörtern (1—200 Wörter) erlauben die Übertragung eines ganzen Trommelkanales zum Kernspeicher oder umgekehrt. So kann die Übertragung von 2200 Stellen durch einen einfachen Befehl von einem Speicher zum anderen innerhalb von 3,468 Millisekunden vollzogen werden.

Die Kombination Kernspeicher-Trommelspeicher gewährleistet eine optimale Programmierung der UCT II. Operanden, zyklische Programmabschnitte, Multiplikation und Division sowie ein Teil der Routinen werden in den Kernspeicher gelegt, was zu entsprechend minimalen Operationszeiten führt. Seine volle Wirkung erreicht der Kernspeicher im Zusammenspiel mit den Magnetbandeinheiten. Sämtliche vom Band zu lesenden und auf das Band zu schreibenden Daten können vom Pufferspeicher aus direkt in den Kernspeicher gelesen oder vom Kernspeicher aus ohne Umweg über die Trommel auf das Band geschrieben werden. Diese Art der Datenverarbeitung wirkt sich besonders günstig auf die Sortierzeiten für die Magnetbänder aus. Ferner wurden zwei besondere Vergleichsbefehle vorgesehen, die den Vergleich von Alpha-Daten ermöglichen. Besonders solche Bandsortierarbeiten, bei denen beispielsweise Adressen Sortierbegriffe darstellen, lassen sich somit äußerst ökonomisch erledigen.



Bild 1. UNIVAC UCT II mit Trommel-Kernspeicher.

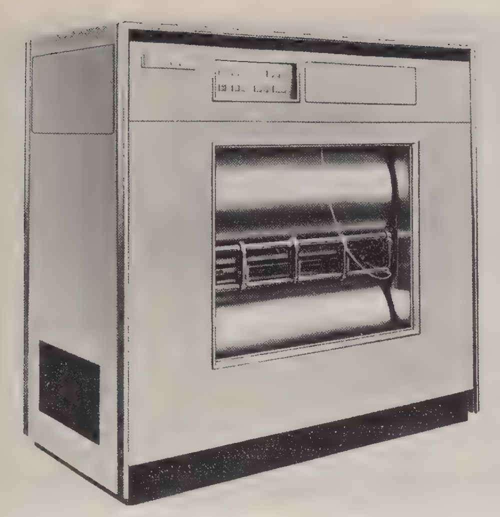


Bild 2. Der RANDEX-Großraumspeicher ist mit zwei großen Magnettrommeln ausgerüstet, die insgesamt 24 Millionen alphanumerische Zeichen aufnehmen können.

Der monatliche Mietpreis für die Grundausführung der UCT II beträgt DM 26900,— bei einer Lieferzeit von 12 Monaten ab Auftragseingang. Preislich gesehen ist die UCT II mithin der Klasse der mittelgroßen Elektronenrechner zuzuordnen, ihre Leistungsfähigkeit entspricht hingegen — wie die nachstehenden Kenndaten verdeutlichen — der einer Großrechenanlage für kommerzielle und technisch-wissenschaftliche Aufgaben.

Kenndaten der elektronischen Datenverarbeitungsanlage Univac UCT II

Zentrale Recheneinheit

Magnettrommel	
Kapazität	Grundausführung: 2400 Wörter in Normalzugriffskanälen + 400 Wörter in Schnellzugriffskanälen. Ausbaufähig mit Speichereinheiten von je 400 Wörtern im Normalzugriff und 200 Wörtern im Schnellzugriff bis zu insgesamt 4000 Wörtern in Normalzugriffskanälen + 1000 Wörtern in Schnellzugriffskanälen. Weitere Ausbaustufe: 7600 Wörter in Normalzugriffskanälen + 1200 Wörter in Schnellzugriffskanälen.
Mittlere Zugriffszeit	Normalzugriffskanäle 1,7 ms Schnellzugriffskanäle 0,425 ms
Wortformat bei Daten	10 Stellen + Vorzeichen
Wortformat bei Instruktionen	11 Stellen
Indexregister	9
Rechenregister	3
Wortzeit	17 Mikrosekunden

Magnetkernspeicher

Kapazität	1280 Wörter
Wortformat bei Daten	10 Stellen + Vorzeichen
Wortformat bei Instruktionen	11 Stellen
Wortzeit	17 Mikrosekunden

Magnetbandeinheiten Uniservo II

Lese- und Schreibgeschwindigkeit 25000 Zeichen/s
Lesen vorwärts und rückwärts
anschließbar: 20 Bandeinheiten
je 10 an Synchronisator 1 und 2
Metall- und Kunststoffbänder (Mylar) können verwendet werden.

Randex-Großraumtrommeln

anschließbar	10 Trommeln
Kapazität je Trommel	12/24 Mio Stellen
Maximalkapazität	240 Mio Stellen
Zugriffszeit	35—550 Millisekunden
Lese- und Schreibzeit	35 Millisekunden für 48 Wörter á 10 Stellen + Vorzeichen

Schnell-Leseeinheit

Kartenformat	80stellig und Kurzkarten mit 22, 51 oder 66 Spalten 90stellig und Kurzkarten mit 16, 27 oder 29 Spalten
Lesegeschwindigkeit	36000 Karten pro Stunde
3 Ablagefächer	

Lese- und Stanzeinheit

Kartenformat	80stellig oder 90stellig
Lese- und Stanzgeschwindigkeit	9000 Karten pro Stunde
2 Ablagefächer	

Schnelldrucker

Druckgeschwindigkeit	36000 Zeilen pro Stunde
Anzahl der Schreibstellen pro Zeile	51 (26 Alpha-, 0—9, 15 Sonder-Zeichen)
Zeilen pro Zoll	6 oder 8
Stellen pro Zoll	10
1 Original + 5 Durchschläge können bedruckt werden.	
Schwarz-/Rotschreibung möglich	

Operationszeiten

Addition/Subtraktion	51 Mikrosekunden
Multiplikation	68—1751 Mikrosekunden
Division	119—1921 Mikrosekunden
Vergleich	51 Mikrosekunden
Laden in das Register	34 Mikrosekunden
Speichern aus dem Register	51 Mikrosekunden
Mehrwortübertragung z. B. 100 Wörter	1768 Mikrosekunden

Buchbesprechungen

John M. Wozencraft und B. Reiffen, Sequential Decoding. John Wiley, & Sons Ltd., London, 1961, 74 Seiten.

Eine der wichtigsten Anwendungen der Informationstheorie ist die theoriegemäße Verschlüsselung zwischen Informationsquelle und Kanal und die entsprechende Entschlüsselung zwischen Kanal und Informationsverbraucher. Gerade darüber aber sagt Shannon in seinem Buch nicht sehr viel, und die meisten anderen einschlägigen Bücher halten es genau so.

Das vorliegende Buch, aus M.I.T. unter dem Einfluß von Elias, Fano und Shannon entstanden, behandelt die sequentielle Decodierung in knapper Form und klarer Sprache und schließt dadurch in sehr erfreulicher Weise einen großen Teil dieser Lücke. Das sehr mathematische Thema ist aus der Sicht des Nachrichteningenieurs her aufgefaßt und dadurch auch für diesen verständlich. Laut Vorwort setzt es mathematisch kaum mehr als Hochschulvorkenntnisse eines Nachrichteningenieurs voraus, höchstens eine Zuneigung zur Statistik. Trotzdem wird es sich für den europäischen Leser auf jeden Fall lohnen, das Buch von Fano ,,Transmission of Information'' (welches in deutscher Sprache im Verlag R. Oldenbourg erscheinen wird) als Voraussetzung anzusehen, was die Autoren im Vorwort auch andeuten.

Zugrunde gelegt wird der symmetrisch gestörte Binärkanal und eine Codierung in Gruppen zu *n* Bits. Die zugehörige Theorie wird in den ersten beiden Kapiteln zusammengefaßt. Die weiteren vier Kapitel und der Anhang stellen einen Forschungsbericht dar, also neue Ergebnisse.

Die sequentielle Decodierung geht davon aus, daß die wahrscheinliche Störung nur eine beschränkte Zahl aus den *n* Bits verändern wird. Benutzt man einen sogenannten Baum-Code (der Name kommt vom logischen Baum-Diagramm), und hat man für die Auswertung eine elektronische Rechenmaschine zur Verfügung, so kann man für die Decodierung des gestörten Empfangssignals einen Algorithmus verwenden, der den am wahrscheinlichsten gesendeten Block aussondert. Zahl der Rechenschritte und Fehlerwahrscheinlichkeit werden abgeschätzt. Ähnliche Verhältnisse ergeben sich bei *Convolutional Codes* (Kapitel 4).

Im fünften Kapitel werden die experimentellen Ergebnisse der Rechenmaschinen-Simulation diskutiert; das sechste gibt einige Erläuterungen.

H. Zemanek

S. Fifer, Analogue Computation. McGraw-Hill, New York, 1961, 1331 S. in 4 Bänden. DM 183,90.

Um einen Analogrechner in bestmöglicher Weise auszunutzen, sollte man sowohl den physikalischen Hintergrund des zur Diskussion stehenden Problems genau kennen als auch die dafür geeigneten mathematischen Methoden und Analogrechenmethoden wie schließlich die Arbeitsweise und Eigenschaften der benutzten Analogrechenelemente. Für die letzten beiden Gesichtspunkte sind Lehrbücher über Analogrechentechnik zuständig. Während sich die meisten Autoren entweder für die Technik der Analogrechner oder die Rechenmethoden und Anwendungen entscheiden, ist hier der Versuch unternommen worden, beide Gesichtspunkte in gleicher Weise zu behandeln. Um es vorweg zu sagen, dieser Versuch ist durchaus gelungen. Daß das Material dann eben nur noch in vier Bänden unterzubringen war, muß der Leser in Kauf nehmen. Ohne Schaden für den Inhalt hätte man am ehesten noch große Teile des rein mathematischen Kommentars weglassen können. Der Inhalt ist folgendermaßen aufgegliedert:

Band I: Rückgekoppelte Gleichstromverstärker, lineare Potentiometer, lineare Differentialgleichungen mit konstanten Koeffizienten, Multiplikatoren, Resolver, Dioden, Relais.

Einstellung in Olympia

Da hatten wir also wieder eine Ausstellung, diesmal in London, die von ihren Veranstaltern als die größte bisher in Europa gezeigte Rechenautomatenschau bezeichnet wurde und auch sonst etwas gespreizt daherkam. Nichts gegen die selbstsichere Haltung der britischen Rechenmaschinenindustrie — hier gibt es zweifellos Erfolge —, aber die Tatsache, daß es mit dem Absatz eben doch verschiedenenorts hapert, hätte man mit etwas mehr Geschick auch verschleiern können, ohne zur Täuschung zu greifen. Falls das überhaupt zu den Zielen einer Ausstellung gehört. Daß im übrigen eine ganze Reihe erfreulicher Neuerungen anzutreffen war, soll nicht verschwiegen werden — beispielsweise versuchten einige Firmen mit sichtbarem Erfolg, ihre schwer transportablen oder anderweitig verhinderten Rechenanlagen per Fernübertragung in die Ausstellungshalle zu holen, was man sich für zukünftige Messen notieren sollte. Wer in seinem Produktionsprogramm z. B. industrielle Fernsehanlagen aufzuweisen hat, stellt einfach einige Empfangsgeräte auf und besucht mit der Kamera alle die Orte, wo Rechner des angebotenen Typs wirklich an der Arbeit sind. Auch die neuen Geräte zur Daten-Schnellübertragung lassen sich vorzüglich demonstrieren, wenn man mit einem weit entfernten Rechner korrespondiert. Inwieweit bei derartigen Methoden allerdings die Realität durch Simulierung verdrängt wird (oder zumindest verdrängt werden kann), wollen wir freundlicherweise nicht untersuchen.

Kurz, das Bild in der Londoner Olympia-Halle war vielfältig genug, daß einer, der alles genau in Augenschein nehmen wollte, seine liebe Not hatte, in zwei Tagen durchzukommen. Altes und Neues gruppierte sich zwanglos umeinander, und der Entdeckungsreisende fand, wenn auch keine Sensationen, so doch beachtenswerte Dinge hier und da.



Dennoch hatte diese Ausstellung einen ganz besonderen, allerdings versteckten Clou: sie war nämlich gar keine. Zwar waren hier Sachwerte in der Höhe von vielen Millionen Pfund aufgebaut, zwar gab es einen Katalog und richtige Stände und hot dogs und eine Menge Besucher, aber der eigentliche Reiz lag in der

Band II: Schreiber, Analog-Digital-Wandler, Funktionsgeber, nichtlineare Differentialgleichungen, Differentialgleichungen mit variablen Koeffizienten, Erzeugung bestimmter Funktionen, Bildung von Übertragungsfunktionen, Prüfmethoden und Fehlerbetrachtungen, Aufbau der Rechenverstärker, Behandlung impliziter Funktionen.

Band III: Repetierende Rechner, Wechselstromrechner, magnetische, transistorisierte und thermische Rechner, mechanische Analogrechner, Nachbildung von Netzwerken, partielle Differentialgleichungen, lineare algebraische Gleichungssysteme, Wurzeln von Polynomen, Säkulargleichung, Potential-Analoga.

Band IV: Fourier-Analyse, Rauschen, adjungierte Methode, Flugdynamik, Totzeiten, Abtastsysteme, Differenzengleichungen.

Da sich das Inhaltsverzeichnis am Anfang des ersten Bandes und die Register am Ende des vierten Bandes befinden und im Inhalt häufig auf die anderen Bände verwiesen wird, sind die Bände einzeln nicht zu gebrauchen. Die Darstellung ist sehr breit und ausführlich. Es liegt damit ein Werk vor, das einen umfassenden Überblick über den gegenwärtigen Stand der Analogrechentechnik und die Anwendungsmöglichkeiten gibt, und das in gleicher Weise für den Anfänger als Lehrbuch (am Ende eines jeden Kapitels sind Übungsaufgaben) wie für den Kenner als Nachschlagebuch dienen kann.

R. Herschel

Norman Malcolm, „Ludwig Wittgenstein" — Ein Erinnerungsbuch. R. Oldenbourg Verlag, München und Wien 1961, 126 S., brosch. DM 8,80.

Das Büchlein, die Übersetzung der 1958 in London bei Oxford University Press erschienenen Originalausgabe, enthält eine biographische Skizze, die Georg Henry von Wright geschrieben hat, und die von einem seiner Schüler, Norman Malcolm, aufgezeichneten Erinnerungen. Es handelt sich um das zweite Buch einer von Oldenbourg herausgegebenen Reihe, die mit von Neumanns Gedanken zu Rechenmaschine und Gehirn begonnen hat und nun mit Wittgensteins Erinnerungsbuch vielversprechend fortgesetzt wird.

Wittgenstein (1889—1951) war in jeder Hinsicht ein außergewöhnlicher Mensch. Die Geschichte seines Lebens spiegelt die Dynamik dieses Mannes wieder. Sein Leben ist reich an Entschlüssen, die ihn als Menschen mit der Fähigkeit, die Dinge konsequent zu durchdenken, kennzeichnen, und dessen Verhalten im täglichen Leben nicht im Mißverhältnis zu seiner geistigen Einstellung steht.

Wittgenstein gilt als Schlüsselfigur zweier bedeutender philosophischer Schulen, der Schulen des logischen Positivismus und der analytischen Philosophie, die besonders in angelsächsisch beeinflußten und skandinavischen Ländern starke Verbreitung gefunden hat. Leider hat er, abgesehen von seinem (dezimal-klassifizierten) Tractatus logico-philosophicus, dessen Herausgabe von Russel gefördert wurde, kein Buch veröffentlicht (die für das Verständnis seiner Vorstellungen wichtigen „blauen" und „braunen" Bücher sind erst 1958 erschienen und sind aus Diktaten Wittgensteins an seine Schüler entstanden).

Wittgenstein geht es im „Tractatus" um die Sprache, in der letztlich unsere Erkenntnisse formuliert werden müssen. Da die Gesamtheit der wahren Sätze für ihn die gesamte Naturwissenschaft ausmacht und nach Tractatus 4.111 die Philosophie keine der Naturwissenschaften ist, ist der Wittgensteinsche Satz verständlich: „Die richtige Methode der Philosophie wäre eigentlich die: nichts zu sagen, als was sich sagen läßt, also Sätze der Naturwissenschaft — also etwas, was mit Philosophie nichts zu tun hat." Seine Meisterschaft in der Beherrschung der Sprache ist bemerkenswert. Man lese dazu z. B. sein Vorwort zum Tractatus.

Das vorgelegte Erinnerungsbuch verdient es, empfohlen zu werden, nicht zuletzt ob des Anreizes, der von ihm ausgeht, Wittgensteins Arbeiten zu lesen.

H. Gumin

Tatsache, daß sich außer den Verkaufsleitern und Mathematikern erstmals auch die Personalchefs der Firmen eingefunden hatten, worauf diskret, aber lesbar angebrachte Schilder an den Ständen hinwiesen.



Die Idee ist neu in Europa und kommt, wie sollte es anders sein, über den Atlantik. In der Tat verfiel man in den USA schon vor Jahren auf den Gedanken, eine Fachausstellung zur Anwerbung von Ingenieuren und Programmierern zu benutzen — denn wo gibt es sonst eine derartige Ansammlung von Spezialisten? Die Sache trug durchaus ihre Früchte, was daraus abzulesen ist, daß heute ganze Beratungsbüros auf Ausstellungen mit eigenen Ständen erscheinen und für einen oder mehrere Auftraggeber organisierte Stellenvermittlung betreiben. Das hat inzwischen schon manchen in Wut versetzt, und es hieß kürzlich in einem drohenden Leserbrief, daß man unter solchen Umständen mit einer spürbaren Verminderung künftiger Besucherzahlen werde rechnen müssen, da viele Firmen ihre kostbaren Ingenieure einfach nicht mehr auf Ausstellungen schicken würden.

Indessen, was änderts, was ändern Briefe — die Entwicklung tut, was sie muß, d. h. entwickelt sich, und da gute Fachleute immer schwerer zu haben sind, wird man bald von Freiheitsberaubung reden hören, wenn nicht gar von Entführung.

Auch in Europa, das ist sicher. Wir Deutschen haben da allerdings noch die geringsten Sorgen im Augenblick, denn unsere jungen Spezialisten zeichnen sich durch eine bemerkenswerte Trägheit aus. Die Weisheit, die einst in dem Begriff „Wanderjahre" lag, ist entschwunden und hat der Frühehe mit einer Firma (oft auch „Haus" genannt) Platz gemacht. Die Büros sind warm und wohlig — was soll man also wechseln? Und wechseln ist so schwer.

Was von solcher Haltung zu halten ist, braucht uns nicht aufzuhalten, aber daß sich solche Haltung ändern kann, liegt auf der Hand. Es braucht sich nur herumzusprechen, wie leicht ein Stellungswechsel zu organisieren ist für den Einzelnen — und wie bekömmlich er ist für das, was man Charakter nennt.

Wenn wir also demnächst auf Ausstellungen nicht nur Computer finden, sondern offene Türen: versuchen wir's doch mal.

D. Kroneberg

DIE BEITRÄGE DIESES HEFTES WURDEN GESCHRIEBEN VON



◄ Dr.-Ing. *Gerhard Häßler* (50). Studium in München und Dresden. Promotion 1934 bei Prof. Barkhausen, Dresden. Entwicklung nachrichtentechnischer Anlagen und Geräte. Seit 1948 bei SEL (Standard Elektrik Lorenz AG), Stuttgart, jetzt Technischer Direktor und Vorstandsmitglied sowie Deputy Technical Director der ITT Europe, Inc. in Brüssel. Vorsitzender des Hochschulausschusses des VDE und der Technischen Kommission der ZVEI, Fachabteilung Fernmeldetechnik, Vorstandsmitglied der Nachrichtentechnischen Gesellschaft im VDE, Mitglied im Wissenschaftlichen Ausschuß des VDE, im Ausschuß für Angewandte Forschung der Deutschen Forschungsgemeinschaft und im Technischen Ausschuß des ZVEI.



◄ Dipl.-Ing. *Werner Ammon* (31). Studium der Nachrichtentechnik an der TH Darmstadt. Diplomexamen 1956. Seit 1957 im AEG-Institut für Automation, Zweigstelle Frankfurt a. M., auf dem Gebiet der Regelungstheorie und Analogrechentechnik tätig.

Dr. rer. nat. *Richard Baumann*, Institut für Angewandte Mathematik der Universität Mainz. Foto und biographische Notizen erschienen in 2 (1960), Heft 2.

Dr. rer. nat. *Rudolf Herschel*, Forschungsinstitut der Telefunken GmbH, Ulm (Donau). Foto und biographische Notizen erschienen in 3 (1961), Heft 1.

Dr.-Ing. *Eugen Schaefer*, Telefunken GmbH, Backnang (Württ.). Foto und biographische Notizen erschienen in 2 (1960), Heft 4.



sucht:

für das

RECHENZENTRUM

innerhalb des Fachgebietes Informationstechnik

erfahrene PROGRAMMIERER

mit überdurchschnittlichen Fähigkeiten und Interesse an selbständiger Arbeit und schwierigen Aufgaben zur Mitarbeit an der Planung, Simulierung und Entwicklung digitaler Datenverarbeitungs- und Steuerungssysteme, beispielsweise für den Postscheckdienst oder die Flugsicherung.

Bewerbungen werden mit Angaben über Ausbildung, berufliche Entwicklung und Gehaltserwartungen erbeten an

TELEFUNKEN
G·M·B·H
GESCHÄFTSBEREICH ANLAGEN HOCHFREQUENZ
Personalverwaltung
KONSTANZ/Bodensee Bücklestraße 1—3

Anwendung von Rechenmaschinen bei der Berechnung von Regelvorgängen

Vorträge, gehalten bei einer Tagung des Fachausschusses Regelungsmathematik der Gesellschaft für angewandte Mathematik und Mechanik (GAMM) in Düsseldorf am 8. November 1957, zusammengestellt von

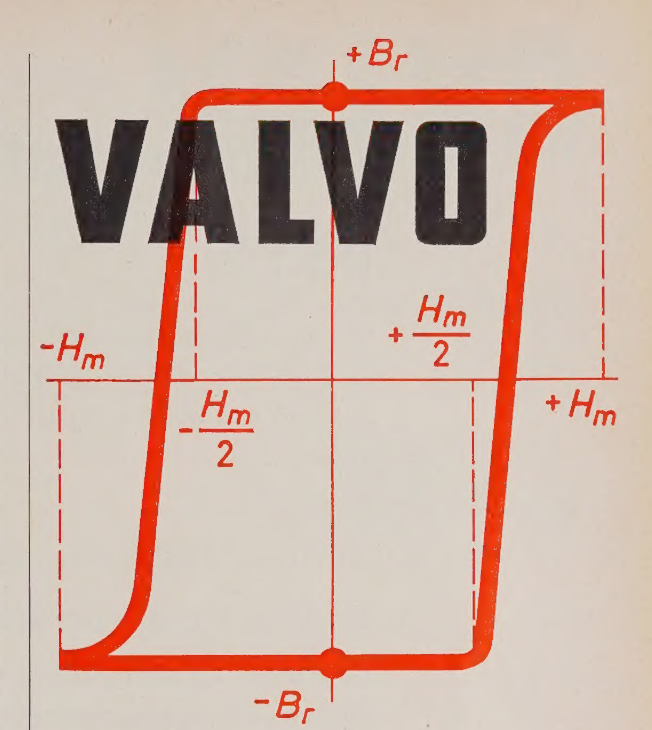
Professor Dr. W. Oppelt

128 Seiten, 121 Abbildungen, Gr.-8°, 1958, Hlw., DM 16,80 (Beihefte zur Regelungstechnik)

INHALT: *Bucovics,* Einsatzmöglichkeiten kleiner elektronischer Ziffern-Rechengeräte zur Lösung von Grundaufgaben der Regelungstechnik · *Reswick,* A simple Graphical Method for Deconvolution · *Leonhard,* Ein Rechengerät für Polynome · *Herschel,* Zum Entwurf von Analogrechenschaltungen für regelungstechnische Probleme · *Föllinger/Schneider,* Vergleich der Berechnung eines Regelvorganges mittels Rechenanlagen verschiedener Typen · *Bühler,* Über das mechanische System mit Reibung und seine elektronische Nachbildung · *Ernst,* Aus der praktischen Arbeit mit Analog-Rechengeräten · *Stein,* Vom Nutzen der Analog-Versuche für die Praxis · *Roth,* Untersuchung der Regelung von Stromerzeugersätzen mit Analogiegeräten.



R. OLDENBOURG VERLAG · MÜNCHEN



Ringkerne aus Ferroxcube 6

mit rechteckförmiger Hystereseschleife

Die Grundbausteine für magnetische Kernspeicher und magnetische Schaltkreise

VALVO Speicherkerne liefern wir in 7 verschiedenen Sorten:

Material	Umschaltstrom bei 40 °C (mA)	Schaltzeit (μs)	Außendurchmesser (mm)
6 E 1	345	≤ 10	3,8
6 E 2	345	≤ 8,5	3,8
6 D 5	365	≤ 1,6	1,3
6 B 1	450	≤ 2,25	1,95
6 C 1	500	≤ 1,0	1,3
6 D 3	740	≤ 1,52	1,95
6 F 1	1170	≤ 0,40	1,3

Die Speicherkerne werden einer zweimaligen strengen Prüfung unterworfen. Dabei sind die Bedingungen härter, als es der späteren Anwendung in Koinzidenzspeichern entspricht. Auf diese Weise ist ein absolut sicheres Arbeiten der Kerne in allen Schaltungen gewährleistet.

VALVO Schaltkerne werden aus zwei verschiedenen Materialien 6 E und 6 D hergestellt. Sie lassen sich u. a. für logische Schaltungen, Schieberegister, Ringzähler und Treiberstufen für Kernspeicher einsetzen. Kerne aus Ferroxcube 6 E eignen sich für niedrige Schaltströme, Kerne aus Ferroxcube 6 D haben kurze Schaltzeiten.

VALVO Speichermatrizen dienen z. B. als Baueinheiten für Magnetkernspeicher. Sie können in den Größen mit 10x10 bis 128x128 Kernen mit verschiedenster Verdrahtung geliefert werden.

VALVO Speicherblocks enthalten eine beliebige Anzahl Speichermatrizen. Die Größe der Blocks richtet sich nach der Art und Zahl der verwendeten Speicherkerne.

Auf Anfrage erteilen wir gern weitere Auskünfte und stellen Ihnen ausführliche technische Unterlagen zur Verfügung.

VALVO GMBH HAMBURG 1



110461/412


Reissbrett- Träume
verwirklichen
sich
schneller
mit EAI
-5606
DIGITAL VOLTMETER
Instrumentation
Dataplotting
PACE TR-10
ANALOG COMPUTING
PACE 231 R
EAI MANUFACTURERS OF PACE
ELECTRONIC ASSOCIATES, INC.- EUROPEAN DIVISION
43, rue de la Science, Brüssel 4 - Belgien
Tel. 11.43.69 - Telex : 02.106
UNSER EUROPÄISCHES RECHENZENTRUM UND UNSER VERKAUFSBÜRO, BEIDE IN BRÜSSEL, STEHEN ZU IHRER VERFÜGUNG.
SPEZIALPROJEKTE WERDEN VON UNSEREM BRITISCHEN TOCHTERWERK E.A. LTD BEARBEITET UND REALISIERT.